Soft X-ray excess in Aktiven Galaxienkernen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors

der Naturwissenschaften

der Fakultät für Physik

der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

FRANK KRULL

aus Sindelfingen

1997

Selbstverlegt von:	Frank Krull Charlottenstraße 11 D-72070 Tübingen
Tag der mündlichen Prüfung:	22. Mai 1997
Dekan:	Prof. Dr. D. Kern
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. R. Staubert
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. K. Werner

Zusammenfassung

Im Energieband $2 - 20$ keV folgen die Röntgenspektren der meisten Aktiven Galaxienkerne (Active Galactic Nuclei - AGN) gut dem Verlauf eines einfachen Potenzgesetzes mit dem als kanonisch angesehenen Spektralindex von ~ 0.7. In vielen Fällen steigt der Photonenfluß unterhalb 2 keV jedoch deutlich gegenüber dem extrapolierten Verlauf des Potenzgesetzes für das Energieband $2 - 20$ keV an. Dieser Anstieg wird als *soft X-ray excess* bezeichnet. Als Ursache werden in der Literatur derzeit verschiedene zusätzliche Emissionskomponenten und der warme Absorber diskutiert. Die gewichtete Kombination beider Ursachen scheint geeignet, sowohl den *soft X-ray excess* als auch andere Erscheinungen in den gemessenen Spektren zu erklären

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, der Frage nachzugehen, inwieweit die *ROSAT*/PSPC-Spektren von Quasaren und Seyfert-1-Galaxien Aussagen über Häufigkeit und Ursache des *soft X-ray excess* erlauben. Um eine Antwort zu finden, wurden aus einem Sample mit 68 Quellen, von denen erstens im *ROSAT*-Datenarchiv pointierte PSPC-Beobachtungen öffentlich zugänglich sind und für die zweitens im Katalog von Malaguti *et al.* (1994) Angaben zu Messungen mit *HEAO2*/MPC, *EXOSAT*/ME oder *Ginga*/LAC verzeichnet sind, 58 für einen Vergleich der Spektralindizes in den Energiebändern $0.1 - 2.4$ keV und $2 - 20$ keV und eine spektrale Analyse der *ROSAT*/PSPC-Spektren ausgewählt.

Aus dem Vergleich der Spektralindizes geht eindeutig hervor, daß der *soft X-ray excess* eine gängige Erscheinung im Röntgenspektrum von AGN ist. Der nach Maccacaro *et al.* (1988) berechnete Mittelwert für die Spektralindizes aller 58 Quellen ist im Energieband $0.1 - 2.4$ keV mit $\sim 1.25^{+0.07}_{-0.07}$ signifikant größer als im Energieband $2 - 20$ keV, der bei $0.74^{+0.05}_{-0.05}$ liegt. Der Mittelwert für die Differenzen zwischen den Spektralindizes beträgt $\sim 0.5^{+0.09}_{-0.09}$. Außerdem ist bei über einem Drittel der Quellen der Spektralindex im Energieband $0.1 - 2.4$ keV mit einer Signifikanz von mehr als 3σ größer als im Energieband $2 - 20$ keV.

Da die Spektralindizes in den Energiebändern $0.1 - 2.4$ keV und $2 - 20$ keV nicht anhand zeitgleicher Messungen ermittelt wurden, ist der Schluß, daß ein *soft X-ray excess* vorliegt strenggenommen nicht zulässig. Wirklich verbindliche Aussagen lassen sich daher nur treffen, wenn das den *soft X-ray excess* kennzeichnende Aufsteilen des spektralen Verlaufs innerhalb der *ROSAT*/PSPC-Spektren direkt zu beobachten ist. Das ist bei elf

Quellen der Fall, deren gemessene Spektren besser mit dem Fit eines doppelten Potenzgesetzes übereinstimmen als mit dem Fit eines einfachen Potenzgesetzes. Ihre Spektren zeichnen sich dadurch aus, daß die Residuen der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz deutliche Anzeichen für einen konkaven Knick aufweisen.

Für neun der elf Quellen ist es möglich, die Ursache des *soft X-ray excess* näher einzugrenzen, indem die Spektralindizes für die weiche und harte Komponente des doppelten Potenzgesetzes mit dem Spektralindex für das Energieband $2 - 20$ keV verglichen werden. In vier Fällen legt der Vergleich den Schluß nahe, daß es sich bei der harten Komponente um die Fortsetzung des einfachen Potenzgesetzes im Energieband $2 - 20$ keV handelt und bei der weichen Komponente um eine zusätzliche Emissionskomponente. In fünf Fällen legt der Vergleich dagegen den Schluß nahe, daß es sich bei der harten Komponente um den blauen Flügel und bei der weichen Komponente um den roten Flügel der Sauerstoffkante eines warmen Absorber handelt.

Betrachtet man die gemessenen Ereignisse in den *ROSAT*/PSPC-Spektren der elf Quellen, fällt auf, daß neun von ihnen zu den zehn Quellen im Sample gehören, die die höchste Statistik der Meßdaten aufweisen. Zusammen mit dem Befund, daß bei neun der elf Quellen entweder eine zusätzliche Emissionskomponente oder der warme Absorber als Ursache für den *soft X-ray excess* dominieren, legt dies die Vermutung nahe, daß der *soft X-ray excess* in den *ROSAT*/PSPC-Spektren nur unter diesen günstigen Voraussetzungen nachzuweisen ist. Das gibt wiederum Anlaß zu der Annahme, daß der *soft X-ray excess* unter Umständen eine weitaus gängigere Erscheinung ist, als der Vergleich der Spektralindizes in den Energiebändern $0.1 - 2.4$ keV und $2 - 20$ keV vermuten läßt.

Meinem
verstorbenen Freund
Walter Eidelloth
zugeeignet

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Zu den Objekten, die in der Astronomie in den vergangenen Jahrzehnten mit die größte Aufmerksamkeit erregt haben, gehören die Aktiven Galaxienkerne (Active Galactic Nuclei - AGN). Das sind außergewöhnlich leuchtkräftige Galaxien, in deren Zentrum sich ein massives Schwarzes Loch befindet, das aus der Umgebung Materie akkretiert und deren potentielle Energie in Strahlung umsetzt. Je nach Erscheinungsbild wird im Standardmodell zwischen Seyfert-Galaxien, Quasaren, Radiogalaxien und Blazaren unterschieden (siehe Kap. 2.1).

Im Röntgenbereich zählen die AGN neben den Röntgendoppelsternen, den Galaxienhaufen und den Supernovaüberresten zu den hellsten Quellen. Dadurch waren von ihnen bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt in der noch jungen Geschichte der Röntgenastronomie Spektren verfügbar, die mit Anpassungen (Fits) von Modellen verglichen werden konnten. Dabei stellte sich rasch heraus, daß die im Energieband $2-20$ keV gemessenen Spektren durchweg gut dem Verlauf eines einfachen Potenzgesetzes mit einem Spektralindex $\alpha = 0.7$ folgen (siehe Kap. 2.3). Die Messungen mit *HEAO-1*/A-2 *HEAO-2*/MPC und *EXOSAT*/ME in den achtziger Jahren trugen schließlich dazu bei, daß der Wert allgemein als kanonische Größe angesehen wurde (siehe Kap. 2.3).

Bei einem guten Teil der AGN steigt der Photonenfluß unterhalb 2 keV jedoch zusätzlich an. Dieser Anstieg wird als *soft X-ray excess* bezeichnet, weil die gemessenen Spektren nicht, wie erwartet, dem extrapolierten Verlauf des Potenzgesetzes für das Energieband $2-20$ keV folgen, sondern steiler verlaufen. Der *soft X-ray excess* zeigte sich erstmals bei der Auswertung von Spektren in den Energiebändern $0.2-4.0$ keV und $0.02-2.5$ keV, die mit *HEAO-2*/IPC und *EXOSAT*/LE in den achtziger Jahren gemessen wurden (siehe Kap. 2.3). Die mit *ROSAT*/PSPC Anfang der neunziger Jahre im Energieband $0.1-2.4$ keV durchgeführten Messungen haben inzwischen wiederholt bestätigt, daß es sich beim *soft X-ray excess* um eine gängige Erscheinung im Röntgenspektrum der AGN handelt (siehe Kap. 2.3).

Als Ursache für den *soft X-ray excess* werden in der Literatur verschiedene zusätzliche Emissionskomponenten und der warme Absorber diskutiert. Die Diskussion der zusätzlichen Emissionskomponenten konzentriert sich im wesentlichen auf die thermische Emission einer Akkretionsscheibe. Dieses Modell ist geeignet, sowohl den *soft X-ray excess* als auch den bei vielen AGN zu beobachtenden Anstieg des Photonenflusses im UV (*big blue bump*) zu erklären (siehe Kap. 2.4.1). Der warme Absorber trägt dagegen nur zu dem Eindruck bei, daß vermeintlich ein *soft X-ray excess* vorliegt. Bei einer unzureichenden Statistik der Meßdaten und einer beschränkten Energiebandbreite der gemessenen Spektren ist der von einem warmen Absorber herrührende rote Flügel der Sauerstoffkante unter Umständen nicht vom Verlauf einer zusätzlichen Emissionkomponente zu unterscheiden (siehe Kap. 2.4.2).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, der Frage nachzugehen, inwieweit *ROSAT*/PSPC-Spektren von Quasaren und Seyfert-1-Galaxien Aussagen über Häufigkeit und Ursache des *soft X-ray excess* erlauben. Um eine Antwort zu finden, wurde ein Sample zusammengestellt, das nur Quellen enthält, von denen erstens im *ROSAT*-Datenarchiv pointierte PSPC-Beobachtungen öffentlich zugänglich sind und für die zweitens im Katalog von Malaguti *et al.* (1994) mit *HEAO2*/MPC, *EXOSAT*/ME oder *Ginga*/LAC bestimmte Spektralindizes für das Energieband $2-20$ keV verzeichnet sind. Diese Zusammenstellung hat den Vorteil, daß damit für alle Quellen sowohl ein Vergleich der Spektralindizes in den Energiebändern $0.1-2.4$ keV und $2-20$ keV als auch eine spektrale Analyse der *ROSAT*/PSPC-Beobachtungen möglich ist (siehe Kap. 3). Ähnlich geschlossene Sample wurden bislang nur von Turner & Pounds (1989) und Comastri *et al.* (1992) untersucht. In beiden Fällen stammen die Daten jedoch von Messungen mit *EXOSAT*/LE+ME.

2 Grundlagen

2.1 Aktive Galaxienkerne

Etwa ein bis drei Prozent aller Galaxien werden aufgrund ihrer morphologischen und spektralen Besonderheiten als Aktive Galaxienkerne (Active Galactic Nuclei - AGN) bezeichnet. Da es sich um die entferntesten Objekte im Universum handelt, die bislang beobachtet werden konnten, sind die Spektren stark rotverschoben. Die Kernregionen zeigen im Vergleich zur Galaxie 10^3 bis 10^4 mal höhere Leuchtkräfte. Häufig sind im optischen und im Radiobereich Jets oder Lobes zu beobachten und in vielen Fällen ist das Spektrum über weite Bereiche variabel. Die Kontinuumsstrahlung stammt von einer kompakten Quelle, in der Energie effektiver umgesetzt wird als bei der Kernfusion im Innern der Sterne.

2.1.1 Standardmodell

Ein quantitatives Gesamtmodell der AGN existiert bislang nicht. Die historisch gewachsene Klassifikation nach Seyfert-Galaxien (Sy), Quasaren (Q), Radiogalaxien (RG) und Blazaren folgt rein phänomenologischen Kriterien. Allerdings gibt es qualitative Vorstellungen über eine einheitliche Geometrie. Sie haben zu einem sogenannten Standardmodell (unified model) geführt, das die Unterschiede weitgehend erklären kann (Antonucci 1993, siehe Abb. 2.1). Danach ist ein AGN wie folgt aufgebaut:

Im Zentrum befindet sich ein massives Schwarzes Loch mit 10^7 bis $10^{10}\ M_\odot$, das durch Gravitation Materie aus der umgebenden Galaxie akkretiert (Rees 1984). Auf diese Weise kann bis zu 42 % der Ruhemassenenergie der akkretierten Materie in Strahlung umgesetzt werden (Blandford *et al.* 1990), so daß bereits Akkretionsraten von wenigen Sonnenmassen Materie pro Jahr ausreichen, um die für AGN typischen Leuchtkräfte von $10^{43} - 10^{47}$ erg/s zu erklären. Da die akkretierte Materie Drehimpuls mitbringt, wird sie allerdings nicht direkt in das Schwarze Loch fallen, sondern wahrscheinlich eine Akkretionsscheibe ausbilden. In ihr kann die Materie dann infolge viskoser Reibung Drehimpuls verlieren und sich auf immer engeren Bahnen sukzessive dem Schwarzen Loch nähern.

Außerhalb dieses Zentrums liegen die Broad und Narrow Line Regions (BLR, NLR), die sich beide aus einer Vielzahl von Gaswolken zusammensetzen, ein Staubtorus und bei einem Teil der AGN senkrecht zur Ebene der Akkretionsscheibe austretende Materieströme, sogenannte Jets. Die Entfernung der BLR vom Zentrum beträgt etwa 0.1 bis einige pc. In ihr werden Emissionslinien angeregt, die stark dopplerverbreitert sind, da sich die Gaswolken aufgrund von Rotation und Turbulenzen mit Geschwindigkeiten bis zu 10^4 km/s bewegen. Im optischen Spektrum kommen nur Linien erlaubter Übergänge vor, da die Dichte der Gaswolken sehr hoch ist. Die Emissionslinien der NLR sind dagegen wesentlich weniger dopplerverbreitert, weil sich die Gaswolken nur mit Geschwindigkeiten zwischen 500 und 1000 km/s bewegen. Zudem ist hier die Dichte in den Gaswolken geringer als in der BLR, so daß im optischen Spektrum sowohl die Linien erlaubter als auch verbotener Übergänge zu finden sind.

2.1.2 Klassifikation

Bei der Klassifikation der AGN wird im Standardmodell (siehe Abb. 2.1) zunächst danach unterschieden, ob Jets zum Erscheinungsbild gehören und im weiteren dann danach, ob durch den Blickwinkel des Beobachters zum Beispiel der Staubtorus die Sicht auf die BLR oder die Akkretionsscheibe verdeckt. Zu den Objektklassen, bei denen keine Jets zu beobachten sind, gehören die Seyfert-Galaxien und die radioleisen Quasare. Die radiolauten Quasare, die Radiogalaxien und die Blazare weisen dagegen Jets auf.

Seyfert-Galaxien

Die meisten Seyfert-Galaxien sind Spiralsysteme. Sie zeichnen sich durch helle, punktförmige Kerne und dopplerverbreiterte Emissionslinien im optischen Spektrum aus. Die Emissionslinien, die einen weiten Ionisationsgrad abdecken, entstehen vermutlich in der NLR und BLR. Aufgrund der unterschiedlichen Breite erlaubter und verbotener Emissionslinien lassen sich zwei Typen von Seyfert-Galaxien unterscheiden.

Bei Seyfert-1-Galaxien sind die erlaubten Emissionslinien (H I, He I, He II, Fe II) wesentlich breiter als die verbotenen (O II, O III, N II, Ne III, Ne IV). Die Halbwertsbreiten der erlaubten Emissionslinien, die in der Vorstellung des Standardmodells aus der BLR kommen, erreichen Geschwindigkeiten bis zu 10^4 km/s. Die Halbwertsbreiten der verbotenen

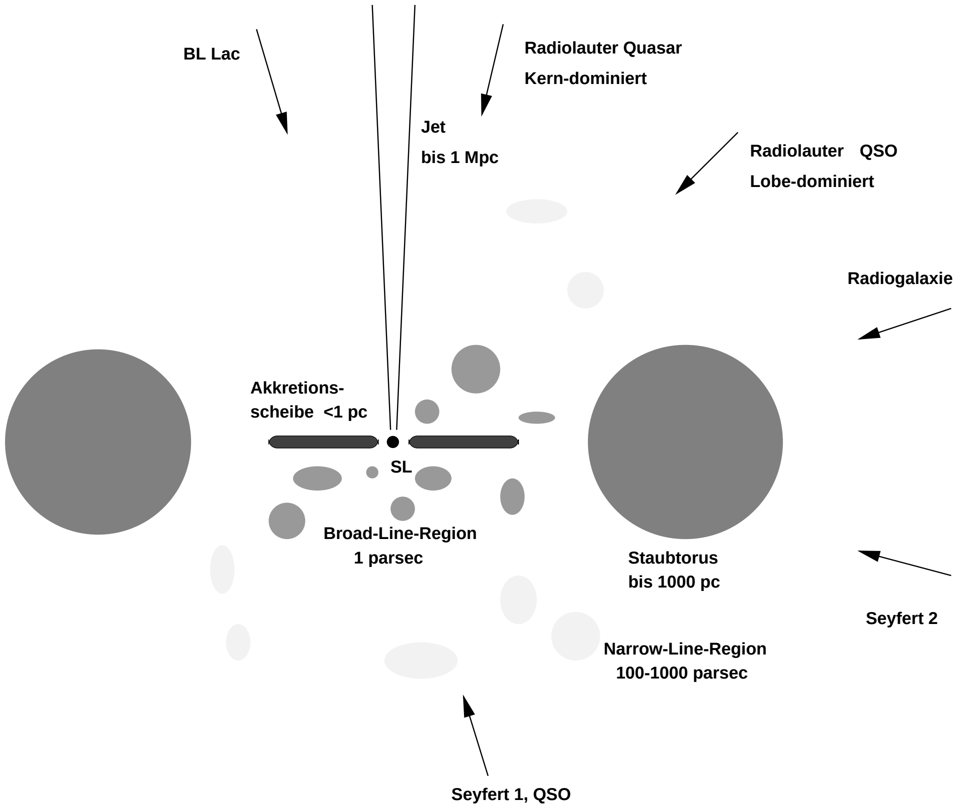


Abb. 2.1: *Standardmodell (unified model) für Aktive Galaxienkerne mit Jet (obere Bildhälfte) und ohne Jet (untere Bildhälfte). Die Einteilung in BL Lacertae-Objekte, Quasare, Radio- und Seyfert-Galaxien wird am Blickwinkel des Beobachters festgemacht (Lamer 1996).*

Emissionslinien, die mit der NLR in Zusammenhang gebracht werden, entsprechen dagegen Geschwindigkeiten zwischen 250 und 1000 km/s. Seyfert-1-Galaxien sind zwar oft schwache Radioquellen, zumeist aber starke Röntgen-, Ultraviolett- und Infrarotquellen.

Bei Seyfert-2-Galaxien ist die Dopplerverbreiterung dagegen bei den erlaubten und verbotenen Emissionslinien gleich groß. Die Halbwertsbreiten entsprechen mit Geschwindigkeiten zwischen 300 und 1000 km/s den Werten für die verbotenen Emissionslinien bei den Seyfert-1-Galaxien. In der Vorstellung des Standardmodells kommen sie beide aus der NLR, da die Sicht auf BLR durch den Staubtorus verdeckt ist. Im Gegensatz zu den Seyfert-1-Galaxien emittieren die Seyfert-2-Galaxien im weichen Röntgenbereich etwas weniger Strahlung, dafür jedoch etwas mehr im Infrarot- und Radiobereich.

Tatsächlich entsprechen die Spektren vieler Seyfert-Galaxien Übergangstypen, die mit Seyfert-1.x gekennzeichnet werden (Osterbrock 1993). x ist dabei das Intensitätsverhältnis der breiten und der schmalen Komponenten, aus denen sich die Profile der H α- und

H β-Linien im beobachten Spektrum zusammensetzen. Je größer X ausfällt, desto kleiner ist der Anteil der breiten Komponente am Linienprofil. X gibt damit in der Vorstellung des Standardmodells indirekt Auskunft darüber, wieviel Prozent der Strahlung, die von der BRL ausgeht, aufgrund des Blickwinkels durch den Staubtorus verschluckt wird.

Für die Existenz von Übergangstypen sprechen auch die spektropolarimetrischen Untersuchungen der ursprünglich als Seyfert-2-Galaxie eingeordneten AGN NGC 1068 (Antonucci & Miller 1985). Bei diesem Objekt weisen sowohl das nichtstellare Kontinuum als auch die in der Kernregion beobachteten breiten Balmer- und Fe II-Linien einen Polarisationsgrad von etwa 16 % auf. Weil das polarisierte Spektrum dem einer Seyfert-1-Galaxie ähnlich ist, liegt die Vermutung nahe, daß es sich dabei um an der NLR gestreute Strahlung des Kontinuums und der BLR handelt, die nicht direkt sichtbar ist, weil sie durch den im Standardmodell angenommenen Staubtorus absorbiert wird.

In die Klasse der Seyfert-Galaxien einordnen lassen sich auch die Low Ionization Emission Line Regions (LINER), die zu den leuchtschwächsten AGN gehören und die Narrow Emission Line Galaxies (NELG). Kennzeichnend für die LINER sind die schmalen Emissionslinien, deren Halbwertsbreiten mit 200 bis 400 km/s noch unter denen der Seyfert-2-Galaxien liegen. Die NELG sind dagegen nicht ganz so einfach zu klassifizieren. Zum einen zeigen sie ähnlich wie Seyfert-1-Galaxien starke Röntgenemission, zum anderen weisen sie schmale Emissionlinien auf, wie sie für Seyfert-2-Galaxien typisch sind. Da bei den NELG im allgemeinen aber nur breite H α-Linien und keine breiten H β-Linien zu beobachten sind, wird dies als Hinweis dafür gewertet, daß es sich um stark gerötete Seyfert-1-Galaxien handelt.

Quasare

Quasare unterscheiden sich in ihren Spektren nicht von Seyfert-1-Galaxien. Die Grenze zwischen den beiden Klassen markiert die absolute Helligkeit $M_{\rm V} = -23^m$. Hellere Objekte werden als Quasare bezeichnet, leuchtschwächere als Seyfert-1-Galaxien.

Mit absoluten Helligkeiten bis zu $M_{\rm V} = -33^m$ stellen die Quasare die hellsten Quellen im Universum. Sie gehören außerdem zu den entferntesten Objekten, die bislang beobachtet wurden. Ihre Spektren weisen Rotverschiebungen bis zu $z = 5$ auf.

Häufig werden die Quasare für detaillierte Betrachtungen danach unterschieden, ob sie radiolaut oder radioleise sind. Radiolaut sind in dieser Arbeit alle Quasare mit einem Breitbandspektralindex $\alpha_{ro} > 0.4$ (siehe Kap. 3.1).

Radiogalaxien

Radiogalaxien gleichen in ihrem optischen Erscheinungsbild elliptischen Galaxien. Im Unterschied zu diesen zeichnen sie sich jedoch durch ungewöhnlich hohe Radioleuchtkräfte zwischen 10^{36} und 10^{38} W aus. Charakteristisch für die Radioemissionsgebiete ist eine Doppelstruktur, da die Strahlung meist von ausgedehnten, symmetrisch zur Kernregion liegenden Jets und Lobes ausgeht. Oft ist gleichzeitig aber auch noch Radiostrahlung aus dem Zentrum der Galaxie zu beobachten. Die Polarisation und nichtthermische Natur der Spektren weisen darauf hin, daß die Radioemission durch Synchrotonstrahlung entsteht.

Blazare

Unter den Blazaren werden die BL Lacertae-Objekte, die Optical Violent Variables (OVV) und die Highly Polarized Quasars (HPQ) zusammengefaßt. Ihnen ist gemeinsam, daß die Spektren starke, unregelmäßige Helligkeitsschwankungen aufweisen und die Kontinuumsstrahlung zwischen 5 und 20 % polarisiert ist. Während die OVV und HPQ im optischen Spektren starke Emissionslinien zeigen, sind bei den BL Lacertae-Objekten keine oder nur sehr schwache Emissionslinien zu sehen. Sowohl die Variabilität als auch die Polarisation können mit dem Standardmodell dadurch erklärt werden, daß der Beobachter direkt in den Öffnungskegel eines Jets sieht. Selbst kleine Helligkeitsänderungen des Jets werden in diesem Fall durch relativistische Effekte bis zu einem Faktor 1000 verstärkt.

2.2 Satelliten und Instrumente

Die Röntgenstrahlung kosmischer Objekte ist erst durch die Möglichkeit, außerhalb der absorbierenden Erdatmosphäre mit Hilfe von Höhenballons, Raketen oder Satelliten Messungen durchzuführen, zum Forschungsgegenstand der Astronomie geworden. Der erste Röntgensatellit mit dem Namen *UHURU* wurde am 12. Dezember 1970 gestartet (Forman *et al.* 1978). Seither gab es eine ganze Reihe verschiedener Röntgenmissionen, die teils mit abbildenden Teleskopen, teils mit anderen Instrumenten ausgestattet waren (siehe Abb. 2.6 und Bradt *et al.* 1992).

2.2.1 ROSAT

Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit gilt der Auswertung von Spektren, die mit dem Position Sensitive Proportional Counter (PSPC) des Röntgensatelliten *ROSAT* von Seyfert-Galaxien und Quasaren gemessen wurden.

Der Röntgensatellit *ROSAT*, der am 1. Juni 1990 in die Erdumlaufbahn gebracht wurde, trägt das bislang größte und leistungsfähigste Wolterteleskop vom Typ I (X-ray Telescope, XRT) (Trümper 1990a, Trümper 1990b, Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik 1990). Das XRT besteht aus vier ineinandergeschachtelten Paaren von paraund hyperboloiden Zerodurspiegeln (X-ray Mirror Assembly, XMA). Die geometrische Fläche des XMA mißt 1141 cm^2, die Apertur 84 cm und die Brennweite 240 cm. Die Instrumentierung in der Fokalebene setzt sich aus zwei redundanten positionsempfindlichen Proportionalzählern (Position Sensitive Proportional Counter, PSPC) und einem Mikrokanalplattendetektor (High Resolution Imager, HRI) zusammen.

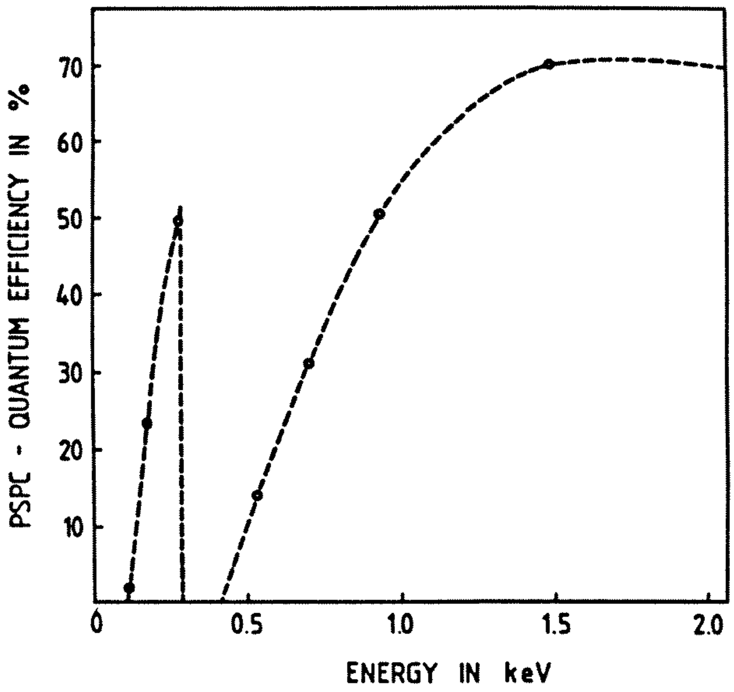


Abb. 2.2: *Quantum Efficiency des PSPC in Abhängigkeit von der Energie der einfallenden Photonen (Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik 1990).*

Der PSPC ist ein Vieldrahtproportionalzähler, der mit einem Gasgemisch aus 65 % Argon, 20 % Xenon und 15 % Methan arbeitet (Pfeffermann & Briel 1985). Da das Zählrohrfenster mit Kohlenstoff beschichtet wurde, um elektrostatische Aufladungen zu verhindern, ist es oberhalb der Kohlenstoffkante von 0.28 bis 0.4 keV nahezu opak. Unterhalb der Kohlenstoffkante liegt die Quantenausbeute (Quantum Efficiency) bei 50 % und im Energieband 0.4 – 2 keV steigt sie sogar auf über 70 % (siehe Abb. 2.2). Die effektive Fläche auf der optischen Achse mißt bei 0.28 keV 260 cm^2 und bei 1 keV etwa 230 cm^2 (siehe Abb. 2.3). Der Einbruch zwischen 0.28 und 0.4 keV ist durch die Kohlenstoffkante bedingt, der Abbruch oberhalb 2 keV hingegen durch die geringe effektive Fläche des Teleskops in diesem Bereich (siehe Abb. 2.4).

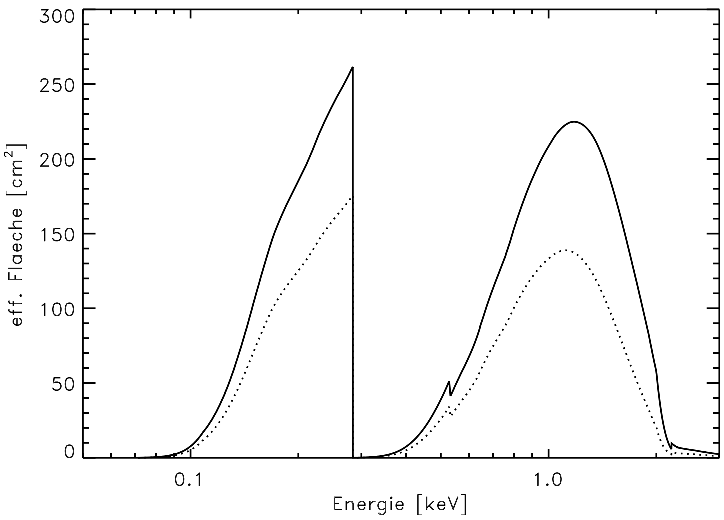


Abb. 2.3: *Effektive Fläche der Kombination aus ROSAT/XRT und ROSAT/PSPC auf der optischen Achse (—) und 40′ außerhalb der optischen Achse (· · ·) in Abhängigkeit von der Energie der einfallenden Photonen (Lamer 1996).*

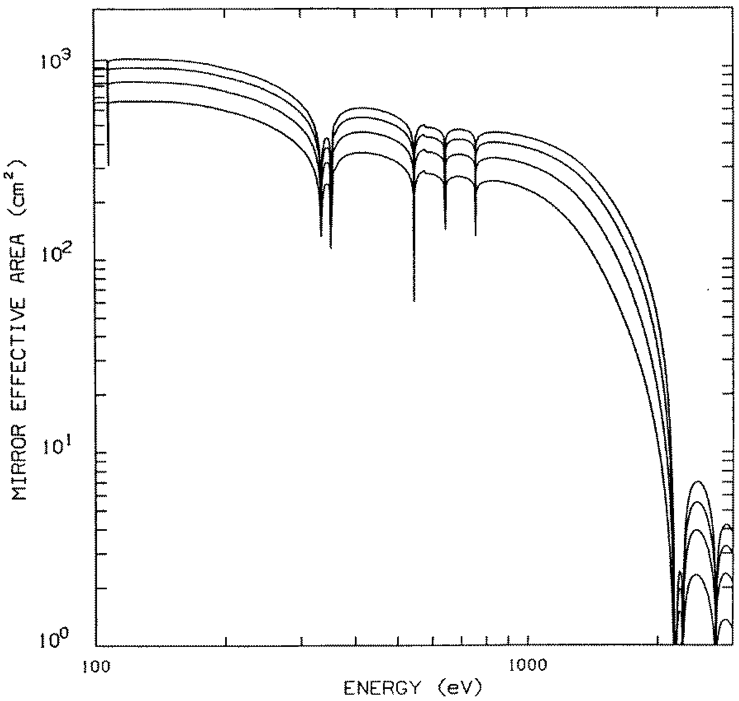


Abb. 2.4: *Effektive Fläche des XMA in Abhängigkeit von der Energie der einfallenden Photonen für Off-axis-Winkel von 0′, 20′, 40′ und 60′ (Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik 1990).*

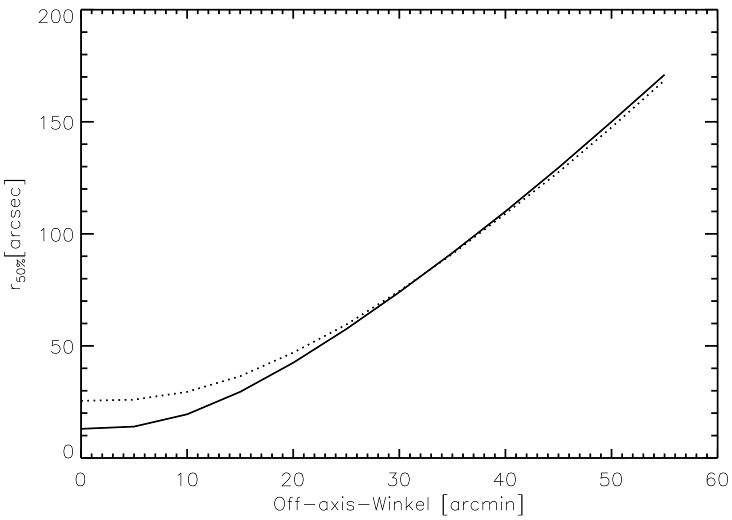


Abb. 2.5: *Punktbildfunktion (Point Spread Function) der Kombination aus ROSAT/XRT und ROSAT/PSPC für 0.2 keV (···) und 1.0 keV (—). Mit zunehmendem Off-axis-Winkel wächst der Radius innerhalb dessen 50 % der Ereignisse einer Punktquelle registriert werden (Lamer 1996).*

Die Winkelauflösung der Kombination aus XRT und PSPC wird durch die Halbwertsbreite der Punktbildfunktion (Point Spread Function, PSF) bestimmt (siehe Abb. 2.5). Auf der optischen Achse des im Durchmesser insgesamt 2° großen Gesichtsfeldes hängt sie allein von der Ortsauflösung des PSPC ab. Dessen Ortsauflösung beträgt bei 0.93 keV 300 μm. Das entspricht bei der Brennweite des XRT einer Winkelauflösung von etwa $25''$ FWHM (Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik 1990). Fern der optischen Achse für Winkel größer $20'$ wird die Punktbildfunktion dann jedoch von der Bildfeldwölbung des XRT dominiert. Die Winkelauflösung ist dadurch für Winkel größer $20'$ von der Energie der einfallenden Photonen unabhängig. Die spektrale Auflösung des PSPC beträgt $\Delta E/E = 0.43\,(E/0.93)^{-0.5}$ FWHM.

2.2.2 Frühere Satelliten

Für die vorliegende Arbeit war es erforderlich, die im Energieband 0.1 – 2.4 keV anhand von Messungen mit dem *ROSAT* Position Sensitive Proportional Counter (*ROSAT*/PSPC) gewonnenen Resultate mit Literaturangaben zu vergleichen, die für die Energiebänder 0.5 – 4.5 keV bzw. 2 – 20 keV vorliegen. Um die Menge der Vergleichswerte auf ein vernünftiges Maß zu beschränken, konnten nur die Ergebnisse jener Instrumente berücksichtigt werden, mit denen eine größere Zahl von AGN gemessen wurden. Das waren auf dem später in *Einstein Observatory* umbenannten Satelliten *HEAO-2* der

Imaging Proportional Counter (IPC), das Solid State Spectrometer (SSS) und der Monitor Proportional Counter (MPC), auf *EXOSAT* das Low Energy Instrument (LE) und das Medium Energy Instrument (ME) und auf *Ginga* der Large Area Counter (LAC).

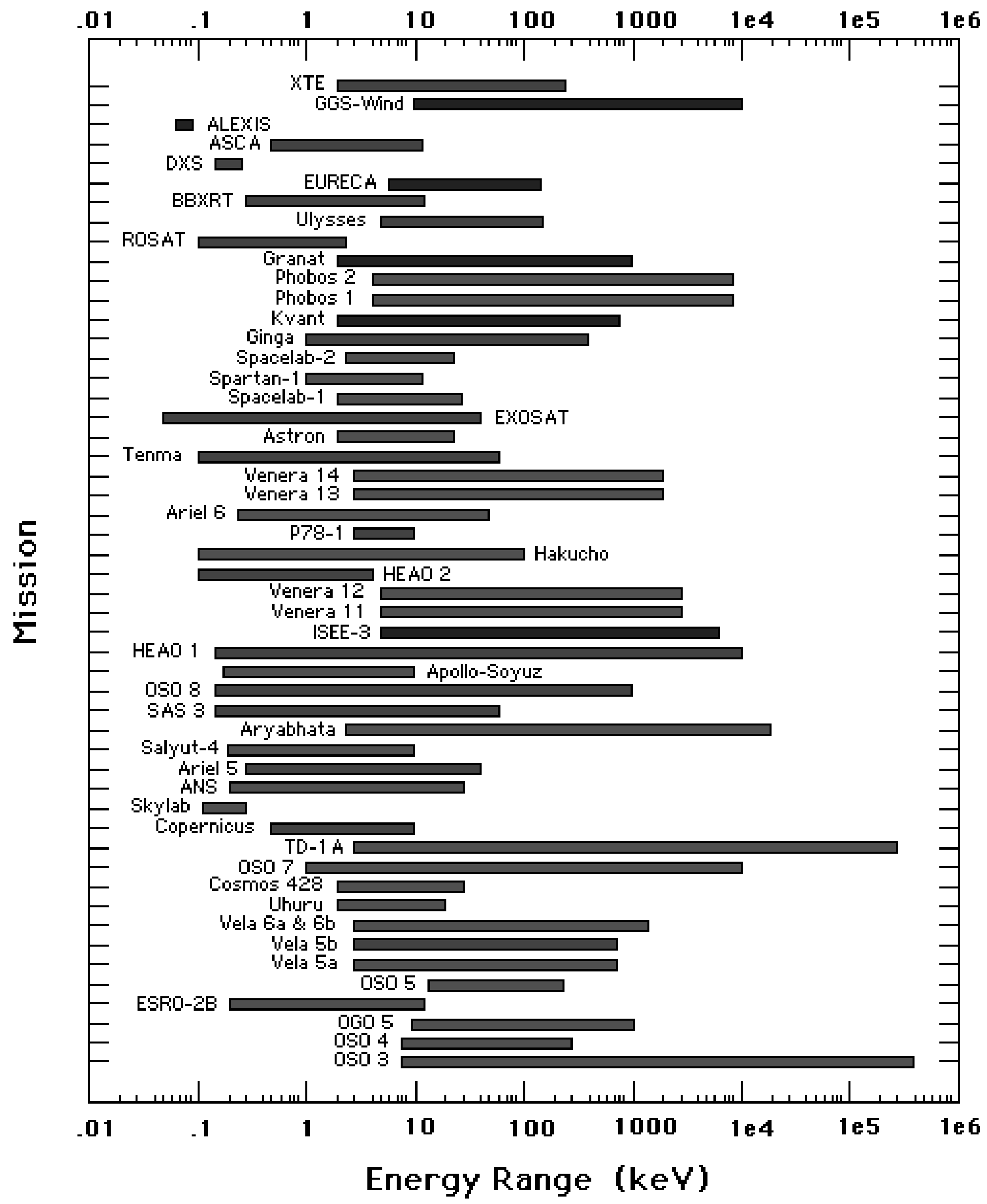


Abb. 2.6: *Energiebänder, die von den bisherigen Röntgenmissionen abgedeckt wurden (HEASARC).*

HEAO-2 (Einstein Observatory)

Am 13. November 1978 startete mit *HEAO-2* (Giacconi *et al.* 1979) erstmals ein Satellit, der mit einem Röntgenteleskop ausgestattet war. Zu den vier Instrumenten, die in der Fokalebene der vierfach geschachtelten Spiegelkonstruktion aus Hyper- und Paraboloiden als Detektoren zur Verfügung standen, gehörten unter anderem ein positionsempfindlicher Proportionalzähler (Imaging Proportional Counter, IPC) und ein Halbleiterspektrometer (Solid State Spectrometer, SSS).

Für den IPC, der das Energieband $0.15 - 4.0$ keV abdeckte, betrug die effektive Fläche auf der optischen Achse bei 2 keV etwa 150 cm^2. Dieser Wert ergibt sich in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Photonen bezüglich der optischen Achse (Off-axis-Winkel) aus dem Produkt der geometrischen Fläche des Teleskops und der Quantenausbeute des Detektors. Die Winkelauflösung lag bei $1'$ und die spektrale Aufösung $\Delta E/E$ für 0.25 keV bei 2.0 bzw. für den Bereich von 1.5 bis 4.0 keV unterhalb 1.0. Beim SSS, mit dem das Energieband $0.4 - 4.0$ keV abgedeckt wurde, maß die effektive Fläche auf der optischen Aachse bei 2 keV ebenfalls etwa 150 cm^2. Die spektrale Auflösung betrug 0.04 bis 0.33.

Neben dem Wolterteleskop befand sich auf *HEAO-2* auch ein kollimierter Proportionalzähler (Monitor Proportional Counter, MPC) für Messungen im Energieband $1.5 - 20$ keV. Der MPC hatte eine effektive Fläche von 667 cm^2. Das Gesichtsfeld war durch Röhrchenkollimatoren auf $1.5°$ FWHM eingeschränkt. Die spektrale Auflösung $\Delta E/E$ betrug 0.4 bei 1.25 keV bzw. 0.2 bei 5.9 keV.

EXOSAT

Ähnlich wie auf *HEAO-2* befanden sich auch auf dem am 26. Mai 1983 gestarteten europäischen Röntgensatelliten *EXOSAT* (Korte *et al.* 1981, Taylor *et al.* 1981, Turner *et al.* 1981, White & Peacock 1988) Wolterteleskope vom Typ I und kollimierte Proportionalzähler.

Als Instrumentierung in der Fokalebene der beiden redundanten, zweifach ineinandergeschachtelten Wolterteleskope (Low Energy Imaging Telescopes, LEIT) waren für das Energieband $0.04 - 2.0$ keV je ein Kanalplattendetektor (Channel Multiplier Array, CMA) mit hoher Winkelauflösung aber ohne spektrale Auflösung und für das Energieband $0.1 - 2.0$ keV je ein positionsempfindlicher Proportionalzähler (Position Sensitive Proportional Counter, PSD) mit einer spektralen Auflösung $\Delta E/E$ von 0.44 bei 1 keV vorgesehen. Kurz nach dem Start fielen jedoch beide PSD aus und wenig später auch eines der beiden CMA, so daß mit dem LEIT nur noch Filterspektroskopie möglich war

Für Messungen im nominellen Energieband $1 - 50$ keV hatte *EXOSAT* einen kollimierten Proportionalzähler (Medium Energy Proportional Counter Array, ME) mit einer effektiven Gesamtfläche von etwa 1600 cm^2 an Bord. Das ME bestand aus acht einzelnen Proportionalzählern, die jeweils wiederum aus zwei getrennten Kammern aufgebaut waren. Unmittelbar nach den Mikrokanalplattenkollimatoren, die das Gesichtsfeld auf $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ FWHM eingeschränkten, kamen zunächst mit Argon gefüllte Kammern für das Energieband $1.3 - 15$ keV, dahinter folgten dann mit Xenon gefüllten Kammern für das Energieband $5 - 55$ keV. Die spektrale Auflösung $\Delta E/E$ betrug für die Argonkammern $0.21\,(E/6.0\,\mathrm{keV})^{-0.5}$ FWHM und für die Xenonkammern $0.18\,(E/22\,\mathrm{keV})^{-0.5}$ FWHM.

Ginga

Am 5. Februar 1987 wurde der japanische Röntgensatellit *Ginga* (Makino & The Astro-C Team 1987) gestartet, auf dem sich unter anderem ein großflächiger kollimierter Proportionalzähler (Large Area Counter, LAC) (Turner *et al.* 1989) befand. Die effektive Gesamtfläche des LAC, der aus acht Einheiten zusammengesetzt war, maß 4000 cm^2. Das Gesichtfeld wurde durch einen Kollimator auf $1.1^\circ \times 2.0^\circ$ FWHM eingeschränkt. Für das durch den LAC abgedeckte Energieband $1.5 - 37$ keV betrug die spektrale Auflösung $\Delta E/E = 0.18\,(E/6.0\,\mathrm{keV})^{-0.5}$ FWHM.

Tabelle 2.1: *Energiebänder und spektrale Auflösungen aller für diese Arbeit berücksichtigten Instrumente.*

Satellit	Instrument	Energieband [keV]	$\Delta E/E$	bei E [keV]
ROSAT	PSPC	0.1 - 2.4	0.43	0.93
Ginga	LAC	1.5 - 37	0.18	6.0
EXOSAT	LE (LEIT/CMA)	0.04 - 2.0	keine	
	ME	1.2 - 50	0.21	6.0
			0.18	22
HEAO-2	IPC	0.15 - 4.0	2.0	0.25
(Einstein)			1.0	1.5 - 4.0
	SSS	0.4 - 4.0	0.04 - 0.33	0.4 -4.0
	MPC	1.5 - 20	0.4	1.25
			0.2	5.9

2.3 Modellspektren für das Röntgenkontinuum

Die ersten Arbeiten, die an das Röntgenkontinuum Aktiver Galaxienkerne Modellspektren fitteten, gehen auf Messungen von Cen A (NGC 5128, 1322−427) mit *Uhuru* in den Jahren 1971/72 und mit *OSO-7* in den Jahren 1972/73 zurück (siehe dazu Mushotzky *et al.* 1993). Dabei zeigte sich, daß ein einfaches Potenzgesetz der Form

$$dN(E)/dE\,dA\,dt = I_0\,exp[-N_{\mathrm{H}}\,\sigma(E)]\,(E/E_0)^{-\alpha-1} \tag{2.1}$$

das mit den Daten verträglichste Modellspektrum liefert, wobei $dN(E)/dE\,dA\,dt$ ($[dN(E)/dE\,dA\,dt]$ = Photonen/cm^2 s keV) der auf der Erde gemessene Photonenfluß bei der Energie E ist, I_0 ($[\mathrm{I}_0]$ = Photonen/cm^2 s keV) der Photonenfluß bei der Referenzenergie E_0 ($[\mathrm{E}_0]$ = keV), N_{H} ($[N_{\mathrm{H}}\ ]$ = 1/cm^2) die interstellare photoelektrische Absorption, $\sigma(E)$ ($[\sigma(E)]$= cm^2) der Wirkungsquerschnitt für die Absorption bei der Energie E ([E] = keV) im interstellaren Gas und α der Spektralindex (Energieindex).

Die Absorption führt unterhalb etwa 0.6 keV ($\simeq 1.5 \cdot 10^{17}$ Hz) zu einer wesentlichen Schwächung der Strahlung bis hin zur Unbeobachtbarkeit. Ursache dafür sind Gebunden-Frei-Übergänge, für die der Wirkungsquerschnitt in Form von Absorptionskanten sprunghaft ansteigt, sobald die Photonenenergie der Strahlung die Bindungsenergie eines Elektrons im absorbierenden Gas erreicht (siehe Abb. 2.7).

Anfang der achtziger Jahre wurden mit *HEAO-1*/A-2 erstmals bei einer größeren Zahl von AGN die Spektren im Energieband 2 − 60 keV gemessen. Der spektrale Verlauf des Röntgenkontinuums ließ sich hier ebenfalls gut durch ein einfaches Potenzgesetzes mit interstellarer Absorption fitten. Für ein Sample aus sieben Seyfert-1-Galaxien ergab sich im Energieband 2 − 60 keV ein mittlerer Spektralindex $\bar{\alpha}$ von 0.65 ± 0.1 (Mushotzky *et al.* 1980, siehe auch Tab. 2.2). Für sechs NELG lieferten die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und interstellarer Absorption im Energieband 2 − 40 keV ein $\bar{\alpha}$ von 0.8 ± 0.06 (Mushotzky *et al.* 1982, siehe auch Tab. 2.2). Für ein Sample aus zwölf leuchtkräftigen Seyfert-Galaxien, deren Spektren im Energieband 2 − 50 keV mit einem einfachen Potenzgesetz gefittet wurden, lag $\bar{\alpha}$ bei 0.63 ± 0.05 (Rothschild *et al.* 1983, siehe auch Tab. 2.2).

Auch die Röntgenkontinua, die mit *HEAO-2*/SSS im Energieband 0.75 − 4.5 keV gemessen wurden, folgten gut dem Verlauf eines einfachen Potenzgesetzes mit interstellarer Absorption. Für ein *hard X-ray selected* Sample aus 15 AGN verschiedener Klassen

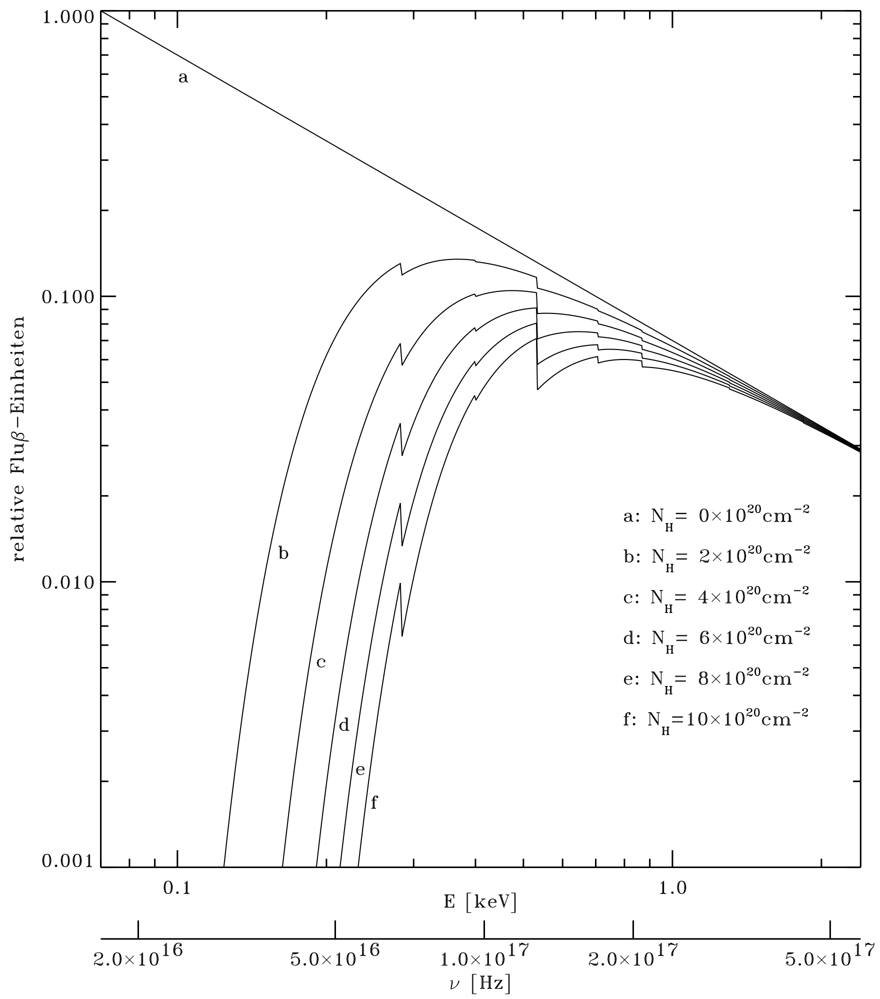


Abb. 2.7: *Wirkung der Absorption des interstellaren Gases auf ein Potenzgesetzspektrum: Mit zunehmender Wasserstoffsäulendichte N_H bricht das Spektrum bei niedrigen Frequenzen stärker ein. Der dargestellte Frequenzbereich entspricht dem Meßbereich von ROSAT (Friedrich 1994).*

mit Röntgenleuchtkräften $\mathrm{L}_{2-10\,\mathrm{keV}} > 3 \cdot 10^{43}$ erg s^{-1} ergab sich ein mittlerer Spektralindex von $\bar{\alpha} = 0.66 \pm 0.36$ (Petre *et al.* 1984, siehe auch Tab. 2.3). Bei einem anderen, ebenfalls *hard X-ray selected* Sample aus zwölf AGN verschiedener Klassen mit Röntgenleuchtkräften $\mathrm{L}_{2-10\,\mathrm{keV}} < 10^{44}$ erg s^{-1} lag der Mittelwert bei $\bar{\alpha} = 0.7$ (Reichert *et al.* 1985, siehe auch Tab. 2.3). Die Auswertungen der mit *HEAO-2*/IPC aufgenommenen Spektren machten jedoch deutlich, daß nicht bei allen AGN die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und interstellarer Absorption zufriedenstellende Eregbnisse liefern. Die Spektralindizes, die sich für ein Sample aus 33 AGN verschiedener Klassen im Energieband 0.3 – 3.5 keV ergaben, waren mit $\alpha = 0.8$ bis 2.8 zum einen größer als bei früheren Messungen, und zum anderen streuten die Werte so stark, daß von einem

Tabelle 2.2: *Mittlere Spektralindizes $\bar{\alpha}$ für die vom Energieband 2 – 20 keV dominierten Röntgenkontinua Aktiver Galaxienkerne. N ist die Zahl der Quellen, die für die Berechnung der Mittelwerte berücksichtigt wurde.*

Referenz	Satellit/Instr.	Energieband [keV]	Klasse	N	$\bar{\alpha}$
Mushotzky *et al.* 1980	HEAO-1/A-2	2 – 60	Sy 1	7	0.65 ± 0.1
Mushotzky *et al.* 1982	HEAO-1/A-2	2 – 40	NELG	6	0.8 ± 0.06
Rothschild *et al.* 1983	HEAO-1/A-2	2 – 50	Sy 1	8	0.63 ± 0.05
			Sy 1.5	2	
			Sy 2	2	
Turner & Pounds 1989	EXOSAT/ME	2 – 10	Sy 1	32	0.70 ± 0.10
			Sy 1.5	2	
			Sy 2	4	
			NELG	6	
			LINER	2	
			Q	2	
Turner *et al.* 1989	Ginga/LAC	2 – 10	Sy	1	0.69 ± 0.29
			Q	7	
Comastri *et al.* 1992	EXOSAT/ME	2 – 10	Sy 1	9	0.89 ± 0.06
			Q	8	
Lawson *et al.* 1992	Ginga/LAC	2 – 10	Q	31	0.78 ± 0.05
			rl Q	18	0.66 ± 0.07
			rq Q	13	0.90 ± 0.10
Williams *et al.* 1992	Ginga/LAC	2 – 10	Sy 1	2	0.81 ± 0.29
			Q	13	
Nandra & Pounds 1994	Ginga/LAC	2 – 18	Sy 1	19	0.73 ± 0.05
			Sy 1.5	1	
			NELG	7	
		10 – 18	Sy 1	19	0.45 ± 0.08
			Sy 1.5	1	
			NELG	7	

einheitlichen Verlauf der Fits nicht mehr die Rede sein konnte (Wilkes & Elvis 1987). Ebenfalls steiler verliefen die Röntgenkontinua eines Sample von 75 AGN verschiedener Klassen, die mit *HEAO-2*/IPC im Energieband 0.2 – 4.0 keV gemessen worden waren. Der mittlere Spektralindex lag dort bei $\bar{\alpha} = 0.81 \pm 0.03$ (Kruper *et al.* 1990, siehe auch Tab. 2.3)

Gegen die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und kanonischem Spektralindex sprachen auch die Messungen mit *EXOSAT*/LE und ME. Bei vielen Quellen lagen die im Energieband 0.02 – 2.5 keV gemessenen Photonenflüsse deutlich über dem Wert, der sich ergibt, wenn das im Energieband 2 – 10 keV ermittelte Potenzgesetz zu niedrige-

Tabelle 2.3: *Mittlere Spektralindizes $\bar{\alpha}$ für die vom Energieband 0.5 – 4.5 keV dominierten Röntgenkontinua Aktiver Galaxienkerne. N ist die Zahl der Quellen, die für die Berechnung der Mittelwerte berücksichtigt wurde.*

Referenz	Satellit/Instr.	Energieband [keV]	Klasse	N	$\bar{\alpha}$
Petre *et al.* 1984	HEAO-2/SSS	0.75 – 4.5	Sy 1 Q	12 3	0.66 ± 0.36
Reichert *et al.* 1985	HEAO-2/SSS	0.75 – 4.5	Sy 1 Sy 1.5 NELG	5 1 6	0.7
Wilkes & Elvis 1987	HEAO-2/IPC	0.3 – 3.5	Sy 1 Q	5 28	0.81 ± 0.19
			rl Q rq Q	17 16	0.5 1.0
Kruper *et al.* 1990	HEAO-2/IPC	0.2 – 4.0	Sy 1 Sy 2 LINER	52 20 3	0.81 ± 0.03

ren Energien extrapoliert wird. Erstmals beschrieben und als *soft X-ray excess* bezeichnet wurde dies bei der Auswertung der Spektren von MKN 841 (1501 + 106) (Arnaud *et al.* 1985). Die Untersuchung größerer Sample zeigte dann, daß bei etwa 30% aller Quasare und Seyfert-Galaxien das Röntgenkontinuum unterhalb 1 keV ansteigt, während die Spektralindizes für die Röntgenkontinua oberhalb 2 keV gut mit dem als kanonisch gehandelten Wert von $\bar{\alpha} \sim 0.7$ übereinstimmen. Bei einem *hard X-ray selected* Sample aus 48 AGN verschiedener Klassen waren die Spektralindizes im Energieband 0.1 – 2.5 keV mit $\alpha = 2$ bis 7 (siehe Tab. 2.4) deutlich größer als im Energieband 2 – 10 keV mit $\bar{\alpha} = 0.70 \pm 0.10$ (Turner & Pounds 1989, siehe auch Tab. 2.2). Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch die Auswertung eines gleichfalls *hard X-ray selected* Sample aus 17 AGN verschiedener Klassen mit Röntgenflüssen $I_{0.3-3.5\,\mathrm{keV}} > 6 \cdot 10^{-12} \mathrm{erg\,cm^{-2}\,s^{-1}}$, für das im Energieband 2 – 10 keV ein mittlerer Spektralindex von $\bar{\alpha} = 0.89 \pm 0.06$ (siehe Tab. 2.2) berechnet wurde (Comastri *et al.* 1992). Auch hier zeigten etwa ein Drittel der Quellen Anzeichen für einen *soft X-ray excess*. In sechs Fällen ließ sich der Verlauf der Spektren mit einem doppelten Potenzgesetz oder der Kombination aus einfachem Potenzgesetz und Schwarzkörperstrahlung zutreffender fitten als mit einem einfachen Potenzgesetz.

Die Spektralindizes der Röntgenkontinua, die mit *Ginga*/LAC im Energieband 1.5 – 37 keV gewonnen wurden, stimmten wieder gut mit den in diesem Bereich bekannten Werten überein. Für ein Sample aus acht AGN verschiedener Klassen mit Röntgen-

Tabelle 2.4: *Mittlere Spektralindizes $\bar{\alpha}$ für die vom Energieband* 0.1 − 2.4 *keV dominierten Röntgenkontinua Aktiver Galaxienkerne. N ist die Zahl der Quellen, die für die Berechnung der Mittelwerte berücksichtigt wurde.*

Referenz	Satellit/Instr.	Energieband [keV]	Klasse	N	$\bar{\alpha}$
Turner & Pounds 1989	EXOSAT/LE+ME	0.1 − 2.5	Sy 1	32	2 − 7
			Sy 1.5	2	
			Sy 2	4	
			NELG	6	
			LINER	2	
			Q	2	
Brunner *et al.* 1992	ROSAT/PSPC	0.1 − 2.4	rl Q	45	1.2 ± 0.1
			rq Q	30	1.5 ± 0.1
Walter & Fink 1993	ROSAT/PSPC	0.1 − 2.4	Sy 1	39	1.5 ± 0.48
			Sy 1.5	6	
			Sy 2	1	
			Q	12	
Laor *et al.* 1994	ROSAT/PSPC	0.2 − 2	Q	10	1.50 ± 0.40
			rl Q	3	1.23 ± 0.20
			rq Q	7	1.61 ± 0.15
Friedrich 1994	ROSAT/PSPC	0.1 − 2.4	Sy 1	37	1.06 ± 0.13
			rl Q	14	1.25 ± 0.14
			rq Q	29	1.35 ± 0.10
Bade *et al.* 1995	ROSAT/PSPC	0.1 − 2.4	Sy 1	111	1.43 ± 0.04
			Sy 2	14	
			Q	158	
Schartel *et al.* 1996	ROSAT/PSPC	0.1 − 2.5	rl Q	47	1.23 ± 0.19
			rq Q	55	1.54 ± 0.04
Rush *et al.* 1996	ROSAT/PSPC	0.1 − 2.4	Sy 1	43	1.26 ± 0.11
			Sy 2	10	1.45 ± 0.18
Schartel *et al.* 1997	ROSAT/PSPC	0.1 − 2.4	Sy 1	18	1.36 ± 0.04
			Q	1	

leuchtkräften $L_{0.3-3.5\,\mathrm{keV}} > 10^{45}\mathrm{erg\,s^{-1}}$ lag $\bar{\alpha}$ bei 0.69 ± 0.29 (Turner *et al.* 1989, siehe auch Tab. 2.2), für ein Sample aus 31 Quasaren mit $M_B < -23$ bei 0.78 ± 0.05 (Lawson *et al.* 1992, siehe auch Tab. 2.2) und für ein Sample aus 15 AGN verschiedener Klassen mit $L_{0.3-3.5\,\mathrm{keV}} \geq 10^{44}\mathrm{erg\,s^{-1}}$ bei 0.81 ± 0.19 (Williams *et al.* 1992, siehe auch Tab. 2.2). Näher betrachtet, zeigte sich jedoch, daß die Röntgenkontinua im Sample von Williams *et al.* (1992) oberhalb 8 keV flacher werden. Dieses Ergebnis wurde durch die Auswertung eines *hard X-ray selected* Sample aus 27 AGN verschiedener Klassen mit Röntgenleuchtkräften $L_{2-10\,\mathrm{keV}}$ zwischen 10^{41} und $10^{45}\mathrm{erg\,s^{-1}}$ bestätigt. Dort war der

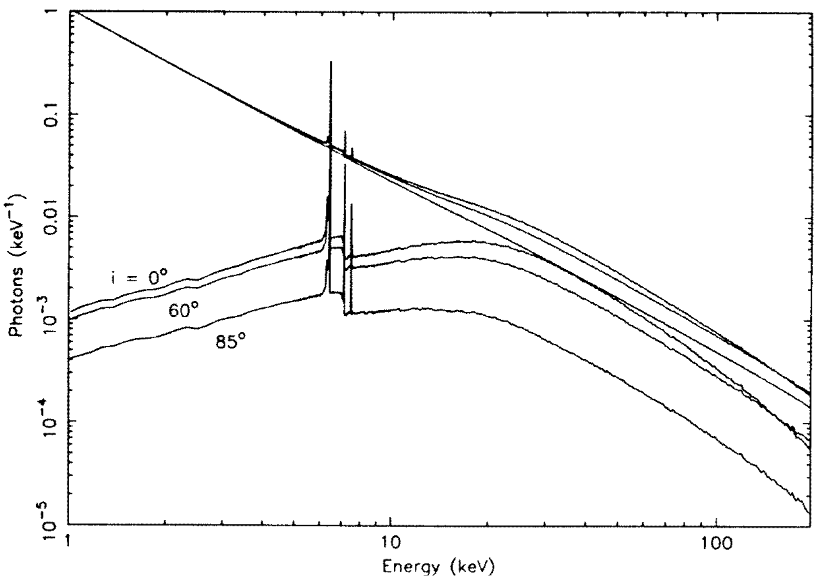


Abb. 2.8: *Modellspektren für die Kombination eines einfachen Potenzgesetzes mit $\alpha = 0.7$ und der an einem kühlen, optisch dicken Material unter verschiedenen Inklinationswinkeln reflektierten Strahlung (reflection hump) (George & Fabian 1991).*

mittlere Spektralindex mit $\bar{\alpha} = 0.73 \pm 0.05$ im Energieband $2 - 18$ keV deutlich größer als $\bar{\alpha} = 0.45 \pm 0.08$ im Energieband $10 - 18$ keV (Nandra & Pounds 1994, siehe auch Tab. 2.2). Das Abflachen wird in der Literatur bisher auf einen Reflektionsbuckel (*reflection hump*) im Spektrum zurückgeführt. Die Vermutung ist, daß die Strahlung der zentralen Quelle teilweise durch Comptonstreuung an kühlen, optisch dickem Material, vermutlich dem Außenbereich der Akkretionsscheibe, reprozessiert wird (siehe Abb. 2.8) (Lightman & White 1988, Pounds *et al.* 1990, George & Fabian 1991, Matt *et al.* 1991). Zwar haben die Fits mit einem einfachen Potenzgsetz und *reflection hump* größere Spektralindizes zum Resultat, die Werte sind jedoch nicht groß genug, um den *soft X-ray excess* allein zu erklären.

Wie erwartet, lieferte die Auswertung der mit *ROSAT*/PSPC im Energieband $0.1 - 2.4$ keV gemessenen Spektren starke Anzeichen für den mit *EXOSAT*/LE und ME beobachteten *soft X-ray excess*. Für ein Sample aus 75 leuchtkräftigen Quasaren lag der mittlere Spektralindex für die radiolauten Quellen bei $\bar{\alpha} = 1.5 \pm 0.1$ und für die radioleisen Quellen bei $\bar{\alpha} = 1.2 \pm 0.1$ (Brunner *et al.* 1992, siehe auch Tab. 2.4). Diese Werte sind weitaus größer als jene, die mit Messungen von *EXOSAT*/ME oder *Ginga*/LAC für das Energieband $2 - 20$ keV ermittelt wurden. Für ein Sample aus 58 optisch bekannten AGN mit mehr als 300 Quellcounts im *ROSAT* All Sky Survey (RASS) lag $\bar{\alpha}$

bei 1.5 ± 0.48 (Walter & Fink 1993, siehe auch Tab. 2.4). Den gleichen Wert lieferte das von Laor *et al.* (1994) ausgewertete Sample aus zehn Quasaren mit $M_B < -23$, $z \leq 0.40$ und einer Wasserstoffsäulendichte in der Galaxis $N_{\mathrm{H,gal}} < 1.9 \cdot 10^{20}\,\mathrm{cm}^{-2}$. Hier ergab sich ein mittlerer Spektralindex von $\bar{\alpha} = 1.50 \pm 0.40$ (siehe auch Tab. 2.4). Im selben Jahr stellte Friedrich (1994) anhand eines auf Daten der RASS basierenden Sample fest, daß sich die mittleren Spektralindizes von Seyfert-1-Galaxien und Quasaren signifikant unterscheiden. Für 37 Seyfert-1-Galaxien ermittelte er einen mittleren Spektralindex von $\bar{\alpha} = 1.06 \pm 0.13$, für 29 radioleise Quasare (rq Q) $\bar{\alpha} = 1.35 \pm 0.10$ und für 14 radiolaute Quasare (rl Q) $\bar{\alpha} = 1.25 \pm 0.14$ (siehe auch Tab. 2.4). Die Auswertung des bislang größten, auf Daten der RASS basierenden Sample, das 283 AGN umfaßt, lieferte einen mittleren Spektralindex von $\bar{\alpha} = 1.43 \pm 0.04$ (Bade *et al.* 1995, siehe auch Tab. 2.4). Im Sample von Schartel *et al.* (1996), das sich aus 102 Quasaren mit mehr als 80 Quellcounts im RASS und $M_V \leq -23$ zusammensetzt, lag $\bar{\alpha}$ für die 47 radiolauten Quasare (rl Q) bei 1.23 ± 0.19 und für die 55 radioleisen Quasare (rq Q) bei 1.54 ± 0.04 (siehe Tab. 2.4). Ein ebenfalls auf Daten der RASS basierendes Sample lieferte für 43 Seyfert-1-Galaxien $\bar{\alpha} = 1.26 \pm 0.11$ und für 10 Seyfert-2-Galaxien $\bar{\alpha} = 1.45 \pm 0.18$ (Rush *et al.* 1996, siehe auch Tab. 2.4). Für das einzige auf Daten der RASS basierende *hard X-ray selected* Sample aus 19 AGN verschiedener Klassen, ergab sich ein mittlerer Spektralindex von $\bar{\alpha} = 1.36 \pm 0.04$ (Schartel *et al.* 1997, siehe auch Tab. 2.4).

2.4 Interpretationen des soft X-ray excess

Unter den physikalischen Prozessen, die als Ursache für den *soft X-ray excess* in Frage kommen, werden in der Literatur derzeit vornehmlich verschiedene zusätzliche Emissionkomponenten und der warme Absorber diskutiert. Die gewichtete Kombination beider Ursachen scheint geeignet, sowohl den *soft X-ray excess* als auch andere Erscheinungen in den gemessenen Spektren zu erklären

2.4.1 Zusätzliche Emissionskomponente

Die ersten Modelle, die den *soft X-ray excess* als Resultat einer zusätzlichen Emissionskomponente interpretierten, führten den Anstieg des Spektrums unterhalb 1 keV auf die thermische Emission einer geometrisch dünnen und optisch dicken Akkretionsscheibe zurück, die lokal ein Schwarzkörperspektrum emittiert (Shields 1978, Malkan & Sargent 1982, Arnaud *et al.* 1985, Pounds *et al.* 1986). Dieses Modell stimmt zwar näherungsweise mit den aus Messungen gewonnenen Daten überein, es kann jedoch nicht den *soft X-ray excess* selbstkonsistent erklären, da Akkretionsraten weit über der Eddingtongrenze nötig wären, damit die Spektren bis in den niederenergetischen Röntgenbereich reichen (Bechthold *et al.* 1987). Neuere Modellrechnungen, die sowohl die Struktur der Scheibe als auch den Strahlungstransport in der Scheibe miteinbeziehen, gehen daher davon aus, daß zwar der Außenbereich optisch dick, der Innenbereich jedoch optisch dünn ist und bei höheren Temperaturen strahlt (Ross *et al.* 1992, Shimura & Takahara 1993, Friedrich 1994, Dörrer 1995, Shimura & Takahara 1995). Wie der Vergleich mit Meßdaten zeigt, können sie den Anstieg des Röntgenkontinuums unterhalb 1 keV generell erklären (siehe Abb. 2.9, 2.10, 2.11 und 2.12). Eine indirekte Bestätigung des Tübinger Akkretionscheibenmodells (Dörrer 1995) liefert auch die gute Anpassung (Fit) eines doppelten Potenzgesetzes an die zeitgleich mit *ROSAT*/PSPC und *Ginga*/LAC gemessenen Spektren von 3C 273 (126+023) (Staubert 1992, Staubert *et al.* 1992, Pflüger 1996).

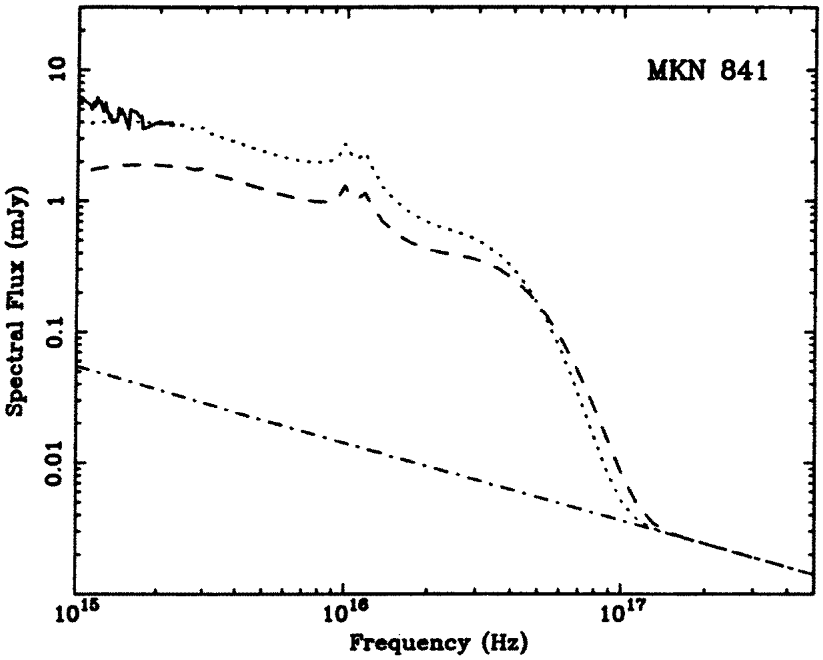


Abb. 2.9: *Fit des Akkretionsscheibenmodells von Ross et al. 1992 an das mit IUE (—) gemessene Spektrum und an das Potenzgesetz (· — ·) des mit EXOSAT gemessenen Spektrums der Seyfert-1-Galaxie MKN 841 (1501 + 106). Der Spektralindex des einfachen Potenzgesetzes liegt bei* $\alpha =$ 0.59. *Der Fit liefert für die Masse* $M = 2 \cdot 10^7 M_\odot$ *des zentralen Schwarzen Lochs und die Leuchtkraft* $L = 0.28\,L_{Edd}$ *die gepunktete Kurve, für* $M = 10^7 M_\odot$ *und* $L = 0.33\,L_{Edd}$ *die gestrichelte Kurve. Das Frequenzband des ROSAT/PSPC reicht von* $0.24 - 5.81 \cdot 10^{17}$ *Hz (1 keV* $\widehat{=}$ $2.42 \cdot 10^{14}$ *Hz).*

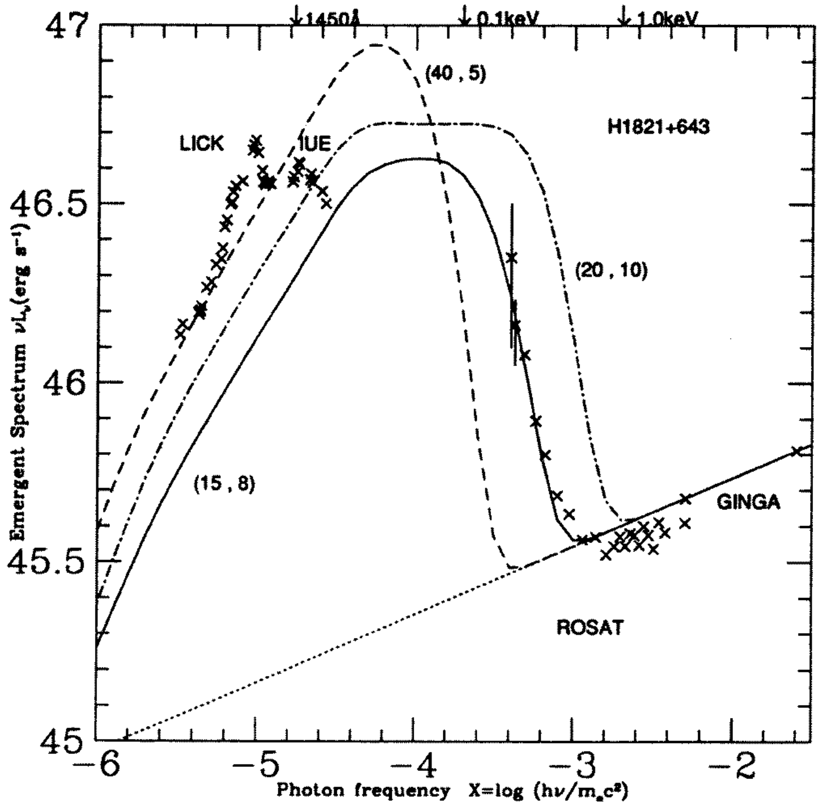


Abb. 2.10: *Fit des Akkretionsscheibenmodells von Shimura & Takahara 1995 an die mit dem Lick-Observatorium und den Satelliten IUE, ROSAT und Ginga aufgenommenen Spektren von KUV 1821+643. Neben den berechneten Spektren sind in Klammern die Masse des zentralen Schwarzen Lochs in Einheiten von* $10^8 M_\odot$ *und die Akkretionsrate* $\dot{M}$ *in Einheiten des Eddingtonlimit* L_{Edd}*, angegeben. Die gepunktete Gerade zeigt den Verlauf eines einfachen Potenzgesetzes mit Spektralindex* $\alpha = 0.83$.

Die größten Zweifel, ob die thermische Emission einer Akkretionsscheibe tatsächlich für den *soft X-ray excess* verantwortlich ist, rühren von der eng korrelierten Variabilität verschiedener Spektralbereiche her, die bei mehreren AGN gemessen wurde (Courvoisier & Clavel 1991, Molendi *et al.* 1992). Das Standardmodell einer Akkretionsscheibe (Pringle & Rees 1972, Shakura & Sunyaev 1973), bei dem die Energie der emittierten Strahlung mit dem Radius verknüpft wird, ist nicht in der Lage, Variabilitätsverzögerungen von wenigen Tagen zu erklären. In der Scheibe, die im heißen Innenbereich ultraviolettes und weiter außen sichtbares Licht emittiert, können sich Störungen maximal mit der lokalen Schallgeschwindigkeit ausbreiten. Die zeitlichen Verzögerungen zwischen korrelierten Strahlungsausbrüchen im UV und optischen Bereich sollten daher mehrere Wochen betragen (Bregman 1994).

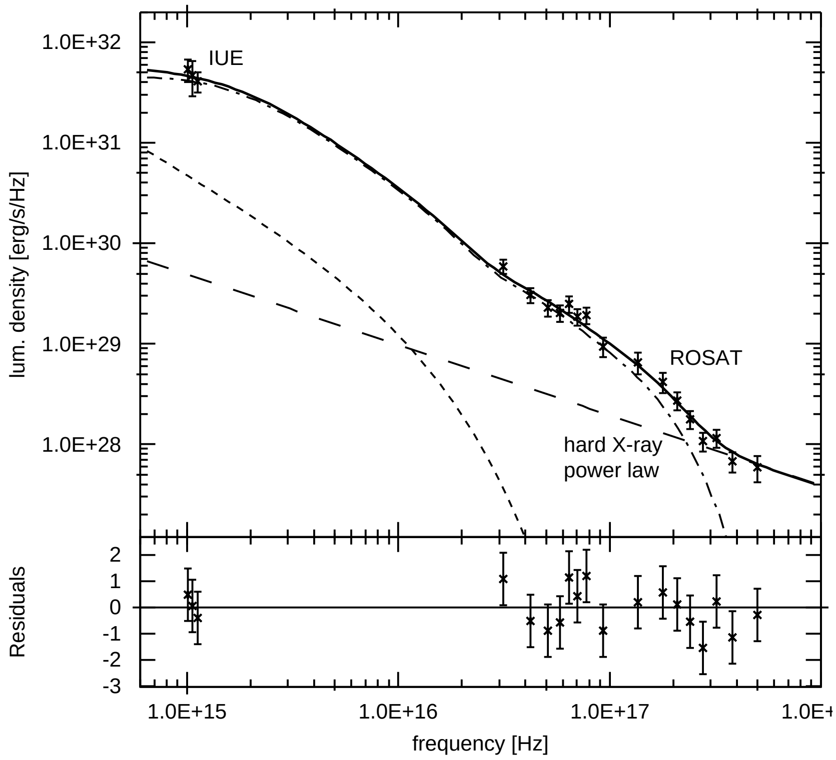


Abb. 2.11: *Fit des Tübinger Akkretionsscheibenmodells (Dörrer 1995) an die mit IUE und ROSAT/PSPC aufgenommenen Spektren von B 201 (1257 + 346). Das Frequenzband des ROSAT/PSPC reicht von* $0.24 - 5.81 \cdot 10^{17}$ *Hz (1 keV* $\widehat{=}$ $2.42 \cdot 10^{14}$ *Hz). Der Fit liefert für die Masse des zentralen Schwarzen Lochs* $M = 4.90 \cdot 10^{8} M_{\odot}$, *für die Akkretionsrate* $\dot{M} = 0.119\,\dot{M}_{krit}$, *wobei die kritische Akkretionsrate* $\dot{M}_{krit}$ *über das Eddingtonlimit* $L_{Edd} = \dot{M}_{krit}\nu c^2$ *definiert ist, für den dimensionslosen Viskositätsparameter* $\alpha = 0.95$ *und für den Inklinationswinkel* $\cos\theta = 0.76$ *(Brunner et al. 1997).*

Keine Schwierigkeiten, die eng korrelierte Variabilität zwischen verschiedenen Spektralbereichen zu erklären, haben die Beleuchtungsmodelle, da bei ihnen die Lichtlaufzeit die Verzögerung bestimmt. Die den *soft X-ray excess* verursachende Komponente ist in diesem Fall sekundärer Natur, da es sich im Gegensatz zur thermischen Emission um reflektierte und reprozessierte Strahlung der zentralen Quelle handelt. Da über den Innenbereich der AGN bislang nur wenig bekannt ist, finden sich in der Literatur derzeit eine Vielzahl verschiedener Modelle (Haardt & Maraschi 1991, Collin-Souffrin 1992, Zdziarski 1992, Ross & Fabian 1993, Czerny & Życki 1994). Als zentrale Quelle sind der heiße Innenbereich der Akkretionsscheibe oder eine darüberliegende Region im Gespräch, als Entstehungsort der reprozessierten Strahlung die kühleren Außenbereiche der Akkretionsscheibe, die NLR, die BLR und eine die Akkretionsscheibe umgebende

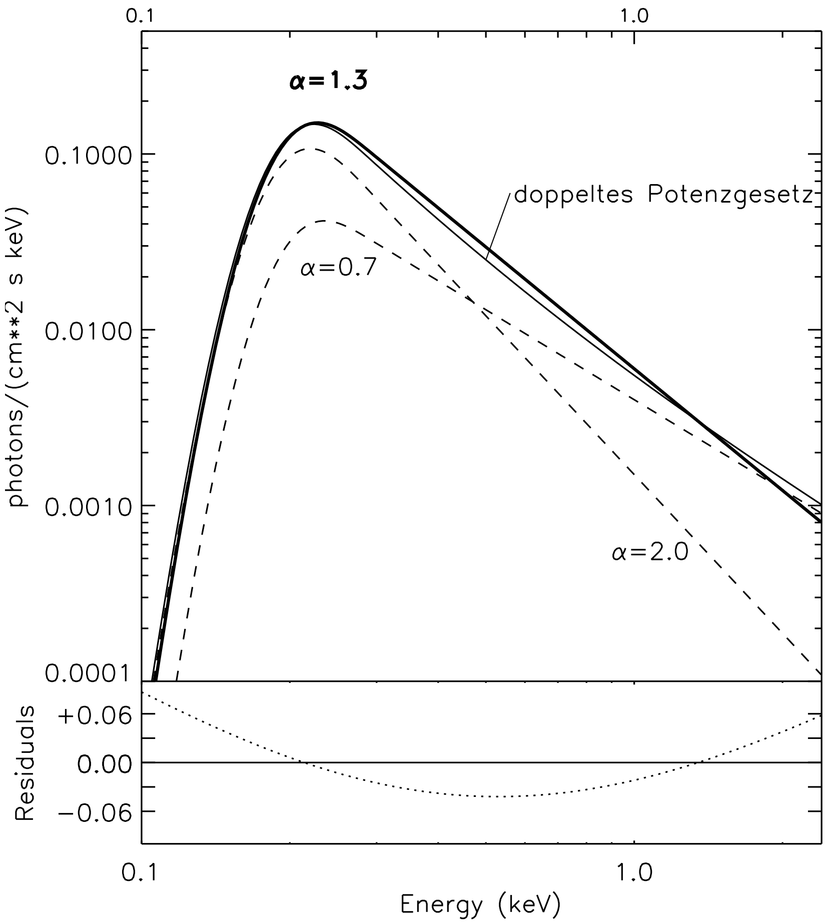


Abb. 2.12: *Schematische Darstellung des Spektrums eines einfachen Potenzgesetzes mit galaktischem N_{H} und zusätzlicher Emissionkomponente ($\alpha = 2.0$) für das mit dem ROSAT/PSPC abgedeckte Energieband* 0.1 − 2.4 *keV. Der Fit mit einem einfachen Potenzgesetz an das resultierende doppelte Potenzgesetzspektrum hat zur Folge, daß der zugehörige Spektralindex ($\alpha = 1.3$) größer ausfällt als der Wert des eingehenden Potenzgesetzspektrums ($\alpha = 0.7$). Außerdem zeigen die Residuen des Fits deutliche Anzeichen für einen Knick.*

heiße Korona. Je nach Geometrie werden die Photonen dann reflektiert, absorbiert und im Röntgenbereich reemittiert oder durch den Inversen Comptoneffekt in den Röntgenbereich angehoben.

2.4.2 Warmer Absorber

Seit einigen Jahren finden sich in der Literatur zunehmend Beispiele, bei denen der *soft X-ray excess* nicht auf eine zusätzliche Emissionskomponente zurückgeführt wird, sondern auf Signaturen im Spektrum, die von einem ionisierten Gas (warmer Absorber)

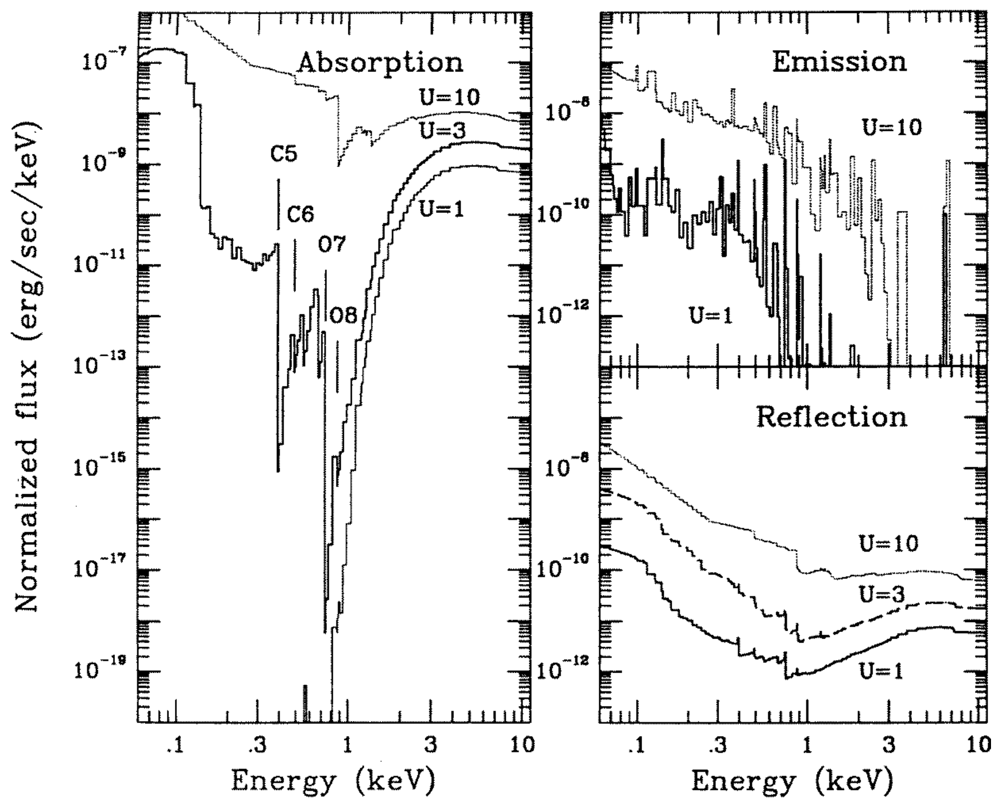


Abb. 2.13: *Modellrechnungen für die Absorption, Emission und Reflektion eines ionisierten Gases mit $n(H) = 10^{10}\,cm^{-3}$ und $N_{\rm H} = 10^{23}\,cm^{-2}$. Das eingehende Kontinuum folgt im Röntgenbereich dem Verlauf eines einfachen Potenzgesetzes mit dem Spektralindex $\alpha = 0.7$ (Netzer 1993).*

herrühren. Der Wirkungsquerschnitt eines Gases für die Absorption im niederenergetischen Röntgenbereich ändert sich mit zunehmendem Ionisationparameter U.

$$U \equiv \frac{Q(H)}{4\,\pi\,r_0^2\,n(H)\,c} \equiv \frac{\Phi(H)}{n(H)\,c} \tag{2.2}$$

Dabei ist $Q(H)$ ($[Q(H)] = 1/\mathrm{s}$) die Zahl der Wasserstoff ionisierenden Photonen, die die zentrale Quelle pro Sekunde emittiert, $n(H)$ ($[n(H)] = 1/\mathrm{cm}^3$) die Wasserstoffdichte, c die Lichtgeschwindigkeit und $\Phi(H)$ ($[\Phi(H)] = 1/\mathrm{cm}^2\,\mathrm{s}$) der ionisierende Photonenfluß (Ferland 1993).

Ein Gas mit solarer Elementhäufigkeit, $n(H) = 10^{10}\,\mathrm{cm}^{-3}$ und Säulendichte $N_{\rm H} = 10^{23}\,\mathrm{cm}^{-2}$ ist für ein eingehendes Kontinuum mit $\alpha = 0.7$ im Röntgenbereich bei $U = 1$ unterhalb der Absorptionskante von O VIII (0.87 keV) opak (siehe Abb. 2.13). Das entspricht dem Fall eines neutralen Absorbers. Sind die leichten Elemente dagegen photoionisiert, wird das Gas bei $U = 3$ bis zur Absorptionskante von C V (0.39 keV), bei $U = 10$

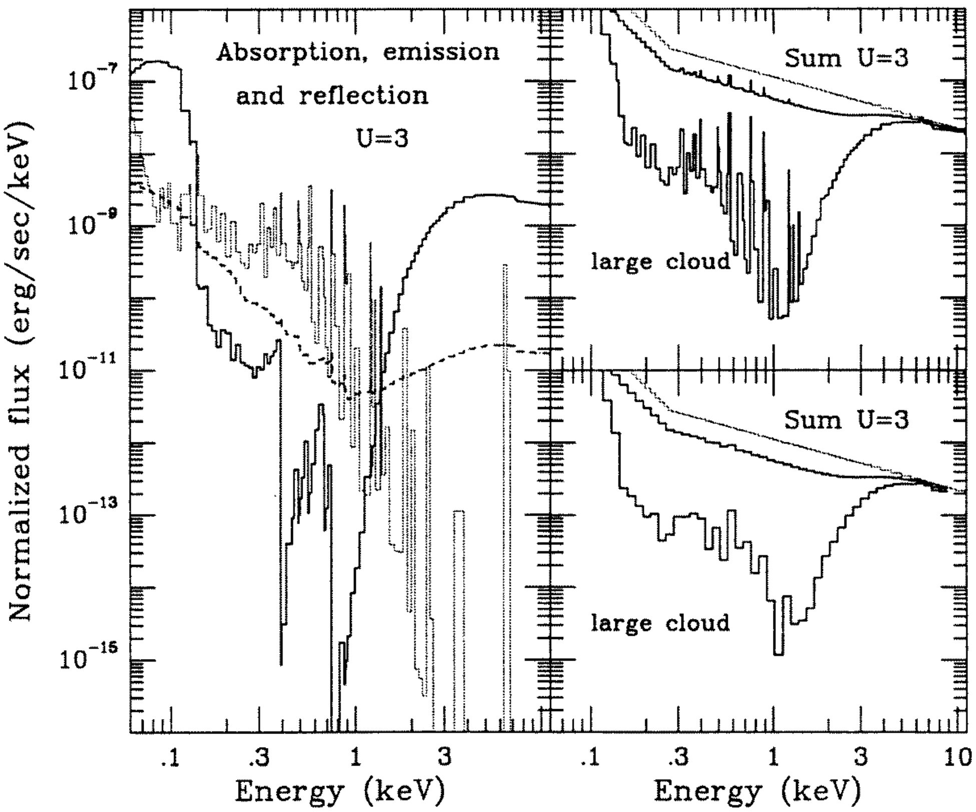


Abb. 2.14: *Links: Kombination der in Abb. 2.13 berechneten Absorptions- (—), Emissions- (· · ·) und Reflektionsspektren (- - -) für $U = 3$. Oben rechts: Das meßbare kombinierte Spektrum unterscheidet sich, je nachdem ob eine große Gaswolke (untere Kurve) oder eine Anzahl kleinerer Gaswolken (mittlere Kurve) die zentrale Quelle bedecken. Der Bedeckungsgrad beträgt in beiden Fällen 0.5. Zum Vergleich ist das eingehende Kontinuum eingetragen (obere Kurve). Unten rechts: Simulierte Aufnahme der kombinierten Spektren mit einem Röntgensatellit dessen spektrale Auflösung bei $\Delta E/E = 0.1$ FWHM liegt (Netzer 1993).*

sogar bis zur Absorptionskante von O VII (0.74 keV) weitgehend transparent. Das transmittierte Spektrum bricht dann zunächst wie beim neutralen Absorber unterhalb der Absorptionskante von O VIII ein, erholt sich aber zu niedrigeren Energien wieder. Durch die in neueren Modellrechnungen berücksichtigten Emissions- und Reflektionskomponenten des ionisierten Gases treten die Signaturen im beobachtbaren Spektrum zwar weniger ausgeprägt, aber immer noch ausreichend deutlich in Erscheinung (siehe Abb. 2.14) (Netzer 1993).

Das Modell des warmen Absorbers kam ursprünglich auf, um Schwankungen der interstellaren Absorption in den Spektren des Quasars MR 2251-178 zu erklären, die

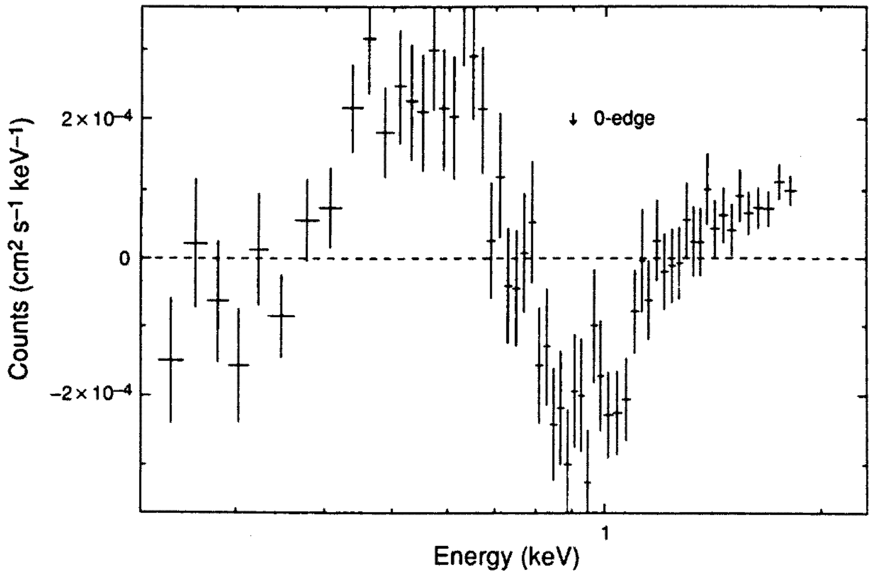


Abb. 2.15: *Residuen des mit ROSAT/PSPC gemessenen Spektrums von MCG-6-30-15* (1333 – 340) *für ein einfaches Potenzgesetz. Der Pfeil markiert die Sauerstoffabsorptionskante (Nandra & Pounds 1992).*

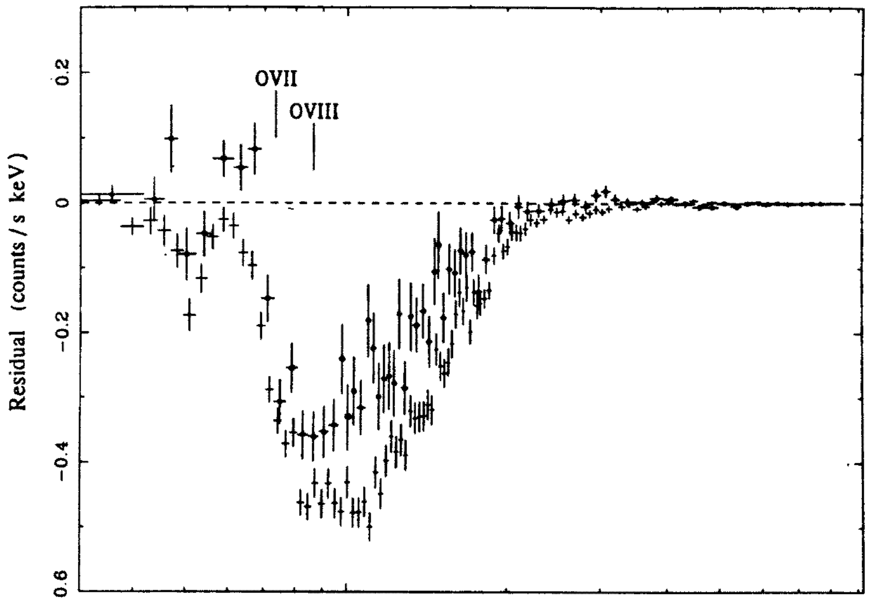


Abb. 2.16: *Residuen der mit ASCA/SIS im Juli und August 1993 gemessenen Spektren von MCG-6-30-15* (1333 – 340) *für ein einfaches Potenzgesetz (Fabian et al. 1994).*

von *HEAO-2*/MPC gemesssen wurden (Halpern 1984, Pan *et al.* 1990). Die nächsten

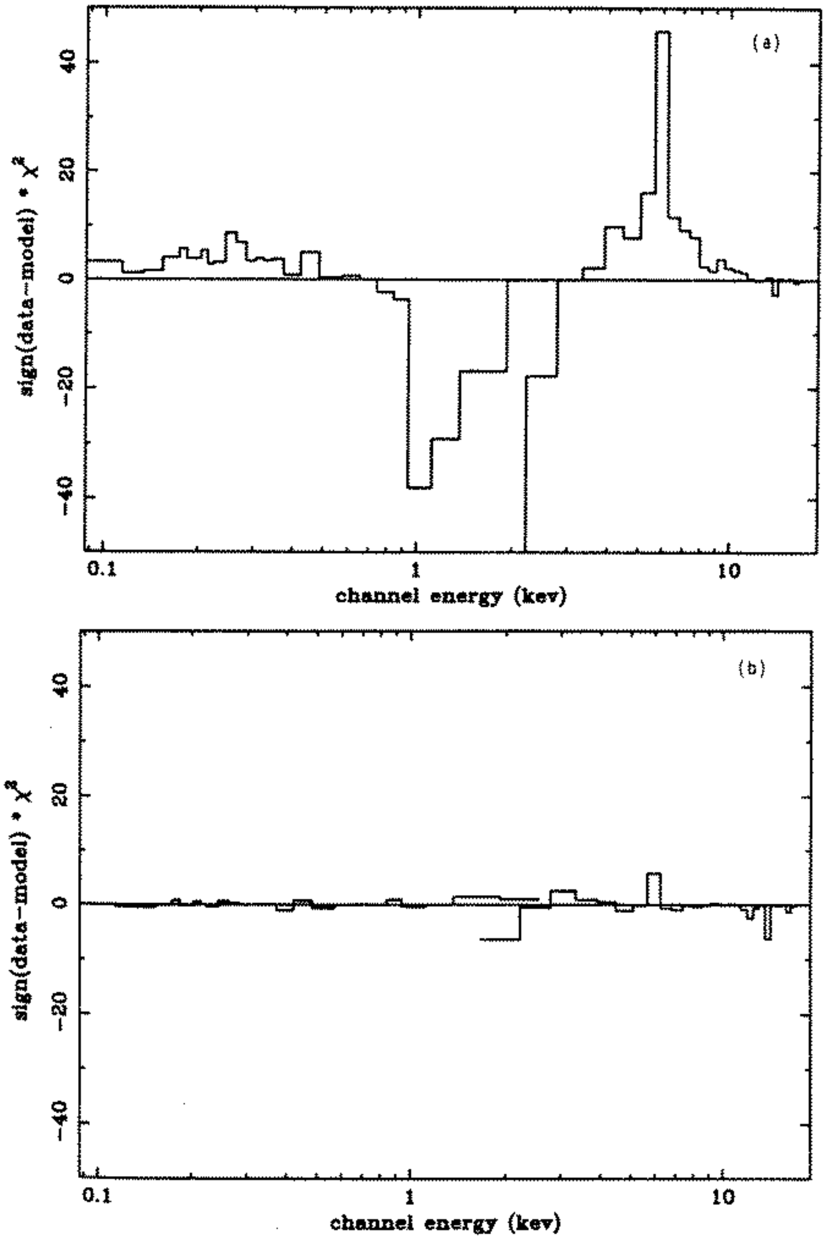


Abb. 2.17: *Residuen der Fits an die gleichzeitig mit ROSAT/PSPC und Ginga/LAC gemessenen Spektren von NGC 4051 (*1200+448*) für ein einfaches Potenzgesetz (*a*) und für die Kombination von einfachem Potenzgesetz und warmem Absorber (*b*) (Pounds et al. 1994)*

Hinweise, die für einen warmen Absorber sprachen, lieferten Spektren, die *Ginga*/LAC von zwölf Seyfert-1-Galaxien gemessen hatte. Sie zeigten zwischen 7 und 9 keV Eisenabsorptionskanten, die gut mit einem ionisierten Gas in der Sichtlinie erklärt werden konnten (Nandra *et al.* 1989, Nandra & Pounds 1994). Eine Reihe von Spektren, die

Tabelle 2.5: *Von den 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen (siehe Kap. 3.1) finden sich für 12 in der Literatur Auswertungen von Röntgenspektren, die für einen warmen Absorber sprechen.*

Objekt	IAU-Name	Satellit/Instr.	Referenz
NGC 3227	1020 + 201	ASCA/SIS	Reynolds 1996
NGC 3516	1103 − 728	ROSAT/PSPC	Mathur *et al.* 1996
		ASCA/SIS	Reynolds 1996
NGC 3783	1136 − 374	Ginga/LAC	Nandra & Pounds 1994
		ROSAT/PSPC	Turner *et al.* 1993
		ASCA/SIS	George *et al.* 1995
		ASCA/SIS	Reynolds 1996
NGC 4051	1200 + 448	Ginga/LAC	Nandra & Pounds 1994
		Ginga/LAC + ROSAT/PSPC	Pounds *et al.* 1994
		ASCA/SIS	Mihara *et al.* 1994
		ASCA/SIS	Reynolds 1996
NGC 4593	1237 + 050	ASCA/SIS	Reynolds 1996
MCG−6−30−15	1333 − 340	Ginga/LAC	Nandra *et al.* 1989
			Nandra & Pounds 1994
		ROSAT/PSPC	Nandra & Pounds 1992
		ASCA/SIS	Fabian *et al.* 1994
		ASCA/SIS	Reynolds 1996
IC 4329A	1346 − 300	Ginga/LAC	Nandra & Pounds 1994
		ROSAT/PSPC	Madejski *et al.* 1995
		ASCA/SIS	Cappi *et al.* 1996
		ASCA/SIS	Reynolds 1996
NGC 5548	1415 + 253	Ginga/LAC	Nandra & Pounds 1994
		ROSAT/PSPC	Nandra *et al.* 1993
		ASCA/SIS	Reynolds 1996
MARK 290	1534 + 580	ASCA/SIS	Reynolds 1996
MARK 509	2041 − 109	Ginga/LAC	Nandra & Pounds 1994
MR 2251−178	2251 − 178	HEAO-2/HRI+MPC	Halpern 1984
		EXOSAT/LE+ME	Pan *et al.* 1990
		ASCA/SIS	Reynolds 1996
MARK 926	2302 − 089	Ginga/LAC	Nandra & Pounds 1994

mit *ROSAT*/PSPC gemessen wurden, weisen Strukturen auf, die sich als Sauerstoffabsorptionskante bei 0.8 keV deuten lassen (siehe Abb. 2.15) (Nandra & Pounds 1992, Fiore *et al.* 1993, Nandra *et al.* 1993, Turner *et al.* 1993, Brandt *et al.* 1996, Greiner *et al.* 1996). Diese Beobachtung entspricht den erwarteten Auswirkungen eines warmen Absorbers auf das Röntgenspektrum der zentralen Quelle. Sie wird auch durch die mit dem Solid-State Imaging Spectrograph (SIS) auf dem 1993 gestarteten japanischen Satelliten *ASCA* aufgenommenen Spektren bestätigt (siehe Abb. 2.16) (Fabian *et al.* 1994, Mihara *et al.* 1994 und Reynolds 1996). Die Auswertung der von *Ginga*/LAC

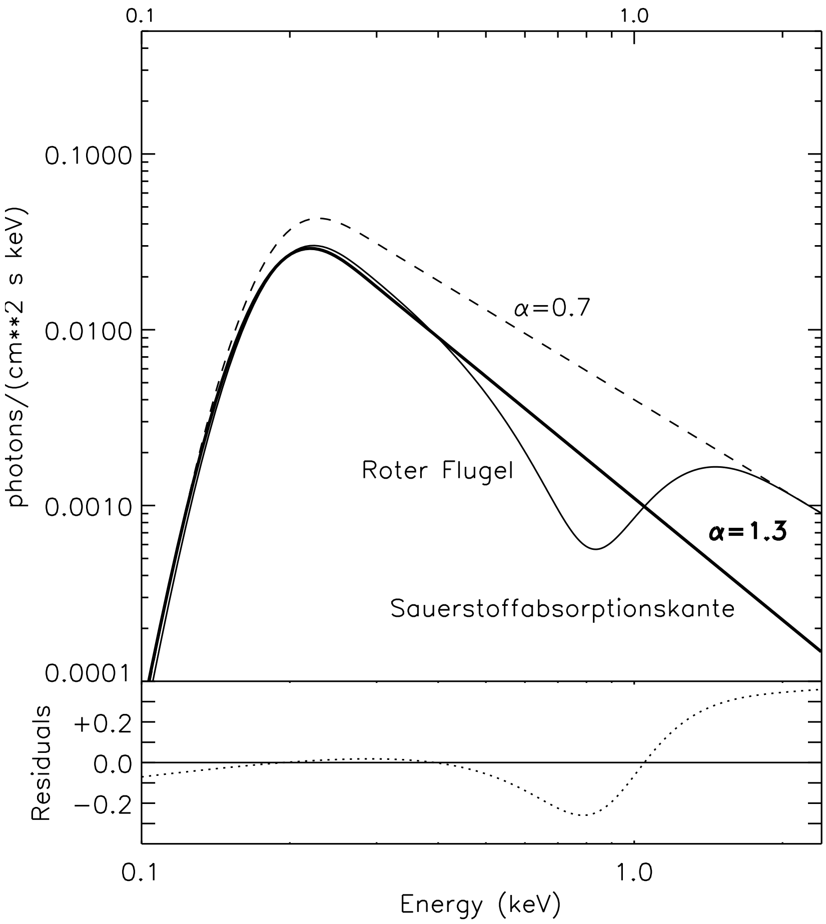


Abb. 2.18: *Schematische Darstellung des Spektrums eines einfachen Potenzgesetzes mit galaktischem $N_{\rm H}$ und warmem Absorber für das mit dem ROSAT/PSPC abgedeckte Energieband 0.1 – 2.4 keV. Der Einfluß eines warmen Absorber kann zu dem Eindruck führen, daß ein soft X-ray excess vorliegt. Der Fit (fett) mit einem einfachen Potenzgesetz an das resultierende Spektrum richtet sich am roten Flügel der Sauerstoffaborptionskante aus. Die Folge ist, daß der zugehörige Spektralindex ($\alpha = 1.3$) größer ausfällt als der Wert des eingehenden Potenzgesetzspektrums ($\alpha = 0.7$). Die Residuen des Fits zeigen wie bei der zusätzlichen Emissionkomponente (siehe Abb. 2.12) deutliche Anzeichen für einen Knick.*

und *ROSAT*/PSPC gleichzeitig gemessenen Spektren von NGC 4051 (1200+448) legt sogar den Schluß nahe, daß es sich beim *soft X-ray excess* in Wirklichkeit um ein Artefakt handelt, das aus der Energieband- und Energieauflösungsbeschränkung der bisherigen Meßinstrumente resultiert (siehe Abb. 2.17). Das einfache Potenzgesetz mit $\alpha = 1.05 \pm 0.03$ und ein warmer Absorber reichen für einen Fit des kombinierten Spektrums völlig aus. Der Eindruck, daß ein *soft X-ray excess* vorliegt, entsteht nur, wenn das mit *ROSAT*/PSPC aufgenommene Spektrum allein ausgewertet wird. Im Energieband $0.1 - 2.4$ keV verläuft das Spektrum mit $\alpha = 1.58 \pm 0.06$ deutlich steiler als oberhalb. Das ist nicht erstaunlich, weil sich die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz in diesem Bereich bei einem Verlauf des Spektrums wie in Abb. 2.14 und 2.18 verstärkt am roten Flügel der Sauerstoffabsorptionskante ausrichten (Pounds *et al.* 1994).

3 Datenakquisition und -auswertung

3.1 Auswahl der Quellen

Nur bei einem kleinen Teil der mit *ROSAT*/PSPC beobachteten Seyfert-1-Galaxien und Quasare sind in der Literatur auch Spektralindiez für das Energieband $2 - 20$ keV verzeichnet, die sich für einen Vergleich eignen. Den bislang umfangreichsten Katalog mit Angaben zum Hochenergiespektrum ($E \geq 0.01$ keV) von AGN stellten Malaguti *et al.* (1994) zusammen. Er enthält die Ergebnisse der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz von 140 Seyfert-Galaxien, 65 Quasaren und vier NELG bzw. LINER. Daraus wurde für die nachfolgende spektrale Analyse ein Sample von 68 AGN (19 radiolauten und acht radioleisen Quasaren, 29 Seyfert-1.0-, zwei Seyfert-1.2- und zehn Seyfert-1.5-Galaxien) ausgewählt (siehe Tab. 3.1).

Damit für den Vergleich der Spektralindizes in den Energiebändern $0.1 - 2.4$ keV und $2 - 20$ keV ein geschlossenes Sample zur Verfgüng steht, erfüllen die Quellen folgende Bedingungen:

Erstens sind für alle im *ROSAT*-Datenarchiv pointierte PSPC-Beobachtungen ohne Borfilter öffentlich zugänglich, bei denen die in den Energiekanälen $11 - 240$ registrieren Ereignisse (Quellcounts) so zusammengefaßt werden können, daß mindestens fünf Bins mit einem fest vorgegebenen Signal-zu-Rausch-Verhältnis > 5 übrig bleiben (siehe dazu Kap. 3.2).

Zweitens sind für sie im Katalog von Malaguti *et al.* (1994) Spektralindizes für das Energieband $2 - 20$ keV aufgeführt, denen Spektren zugrunde liegen, die mit *HEAO-2*/MPC, *EXOSAT*/ME oder *Ginga*/LAC gemessen wurden.

Drittens lassen sich alle Quellen entweder als Seyfert-1-Galaxien oder Quasare klassifizieren.

Tabelle 3.1: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation aller 68 Quellen im vorliegenden Sample*

Objekt	IAU-Name	Klasse	Objekt	IAU-Name	Klasse
III ZW 2	0007+106	Sy 1.0	3C 279	1253−055	Q
S5 0014+81	0014+813	Q	PG 1307+085	1307+085	Q
PG 0026+12	0026+129	Q	MCG−6−30−15	1333−340	Sy 1.0
MARK 352	0057+315	Sy 1.0	IC 4329A	1346−300	Sy 1.0
MARK 1152	0111−151	Sy 1.5	MARK 279	1351+695	Sy 1.0
FAIRALL 9	0121−590	Sy 1.0	MARK 464	1353+388	Sy 1.5
3C 47	0133+207	Q	NGC 5548	1415+253	Sy 1.5
MARK 590	0212−009	Sy 1.2	PG 1416−129	1416−129	Q
NGC 985	0232−090	Sy 1.5	MARK 1383	1426+015	Sy 1.0
ESO 198−G24	0236−524	Sy 1.0	MARK 841	1501+106	Q
NRAO 140	0333+321	Q	PKS 1510−08	1510−089	Q
3C 111.0	0415+379	Sy 1.0	MARK 290	1534+580	Sy 1.0
NGC 1566	0418−550	Sy 1.0	1E 1615+061	1615+061	Sy 1.0
3C 120	0430+052	Sy 1.0	3C 345.0	1641+399	Q
AKN 120	0513−002	Sy 1.0	MARK 506	1720+309	Sy 1.5
PKS 0518−45	0518−458	Sy 1.0	B2 1721+34	1721+343	Q
PKS 0637−75	0637−752	Q	KUV 18217+6419	1821+643	Q
MARK 79	0738+499	Sy 1.2	3C 390.3	1845+797	Sy 1.0
PG 0804+761	0804+761	Q	ESO 141−G55	1916−587	Sy 1.0
NGC 3031	0951+693	Sy 1.0	4C 73.18	1928+738	Q
NGC 3227	1020+201	Sy 1.5	NGC 6814	1939−104	Sy 1.0
B2 1028+31	1028+313	Q	MARK 509	2041−109	Sy 1.0
NGC 3516	1103+728	Sy 1.5	PKS 2126−15	2126−158	Q
PG 1121+422	1121+423	Q	II ZW 136	2130+099	Sy 1.0
MARK 40	1122+546	Sy 1.0	PKS 2135−14	2135−147	Q
NGC 3783	1136−374	Sy 1.0	OX 169	2141+175	Q
3C 263	1137+660	Q	B2 2201+31A	2201+315	Q
PKS 1159−036	1159−036	Q	NGC 7213	2206−474	Sy 1.0
NGC 4051	1200+448	Sy 1.0	3C 445.0	2221−023	Sy 1.0
NGC 4151	1208+396	Sy 1.5	3C 446	2223−052	Q
MARK 766	1215+300	Sy 1.5	3C 454.3	2251+158	Q
MARK 205	1219+755	Sy 1.0	MR 2251−178	2251−178	Q
3C 273	1226+023	Q	NGC 7469	2300+086	Sy 1.0
NGC 4593	1237−050	Sy 1.0	MARK 926	2302−089	Sy 1.5

Eine Auflistung der Positionen (2000), Rotverschiebungen z, Spektralindizes α_{2-20} im Energieband $2-20$ keV, Radioleuchtkraftdichten l_r bei $\nu_r = 5$ GHz, optischen Leuchtkraftdichten l_o bei $\nu_o = 5517$Å und Breitbandspektralindizes α_{ro} ist für die 68 Quellen in den Tab. 6.2 und 6.3 im Anhang zu finden.

Die Angaben in den oben genannten Spalten wurden alle entweder den Katalogen von Véron-Cetty & Véron (1993), Hewitt & Burbidge (1993) und Malaguti *et al.* (1994), der NED und dem Katalog optischer Identifikationen der 1-Jy-Radioquellen von Stickel *et al.* (1994) direkt entnommen oder anhand dieser berechnet. Die aufgeführten Kataloge enthalten neben den Namen der Quellen, deren Positionen, Klassifikationen, scheinbare optischen Helligkeiten $m_{\rm V}$ ($[m_{\rm V}]$ = mag), Spektralindizes für die Energiebänder $0.5 - 4.5$ keV und $2 - 20$ keV auch — sofern vorhanden — Radioflußdichten f_ν ($[f_\nu] = {\rm Jy} = 10^{-26}\,{\rm W\,m^{-2}\,Hz^{-1}}$) bei 2.7 GHz und 5 GHz und Rotverschiebungen z.

Falls zu einer Quelle in den Energiebändern $0.1 - 4.5$ keV und $2 - 20$ keV mehrere Spektralindizes vorlagen, wurde der Mittelwert gebildet und mittels Gauss'scher Fehlerfortpflanzung der dazugehörige Fehler berechnet (siehe Tab. 6.1 im Anhang).

Die Berechnung der Leuchtkraftdichten l_ν aus den Flußdichten f_ν erfolgte unter der Annahme eines Friedmann-Modells mit $H_0 = 50$ km/s Mpc und $q_0 = 0$ mittels

$$\begin{aligned} \log l_\nu = {} & 34.63 + \log f_\nu + 2 \cdot \log\left(z\left(1+\frac{z}{2}\right)\right) \\ & + \alpha_\nu \cdot \log\left(\frac{\nu}{\nu_0}\right) + (\alpha_\nu - 1)\cdot\log(1+z) \end{aligned} \tag{3.1}$$

wobei z die Rotverschiebung und α_ν der zu f_ν gehörende Spektralindex ist, unter der Annahme, daß das Spektrum in diesem Frequenzbereich durch ein Potenzgesetz beschrieben werden kann (Zamorani *et al.* 1981).

Für den optischen Bereich wurde der Spektralindex für Quasare durchweg mit $\alpha_o = 0.5$ angesetzt (Brunner *et al.* 1994) und die Flußdichte jeweils anhand der scheinbaren optischen Helligkeit $m_{\rm V}$ mittels

$$f_{5517\,\text{Å}} = 10^{3.59-0.4(m_{\rm V}-A_V)} \tag{3.2}$$

berechnet (Karttunen 1990), wobei A_V die Extinktion bzw. Rötung durch den interstellaren Staub ist.

Die Extinktion A_V hängt über $A_V = 3.14 \cdot E_{B-V}$ mit dem Farbexzeß E_{B-V} (Seaton 1979) zusammen, der wiederum nach einem empirischen Gesetz im Mittel proportional zur Wasserstoffsäulendichte $N_{\rm H}$

$$\langle N_{\rm H}/E_{B-V}\rangle = 4.8 \cdot 10^{21}/\ {\rm cm^2\,mag}$$

ist (Bohlin *et al.* 1978). A_V entspricht danach $0.0654 N_{\rm H}$, wobei $N_{\rm H}$ in Einheiten von $10^{20}/{\rm cm}^2$ angegeben ist.

Für den Radiobereich erfolgte die Berechnung der Spektralindizes α_r unter der Annahme eines einfachen Potenzgesetzes anhand der Gleichung

$$\alpha_r = -\frac{\log(f_{5\,\mathrm{GHz}}/f_{2.7\,\mathrm{GHz}})}{\log(5\,\mathrm{GHz}/2.7\,\mathrm{GHz})} \tag{3.3}$$

Falls in der NED mehrere Werte für die Flußdichten $f_{2.7\,\mathrm{GHz}}$ und $f_{5\,\mathrm{GHz}}$ vorlagen, wurde der Mittelwert gebildet und mittels Gauss'scher Fehlerfortpflanzung der dazugehörige Fehler bestimmt. Bei einzelnen Angaben wurde ein Fehler von 0.1 Jy angenommen.

Der Breitbandspektralindex α_{ro} wurde mit

$$\alpha_{ro} = -\frac{\log(l_o/l_r)}{\log(\nu_o/\nu_r)} \tag{3.4}$$

ermittelt, wobei l_r ($[l_r]$ = erg/s Hz = 10^{-7} W/Hz) die Radioleuchtkraftdichte bei der Frequenz ν_r und l_o die optische Leuchtkraftdichte bei ν_o ist. Für die Berechnung wurden die gemessenen Flußdichten f_ν ($[f_\nu]$ = Jy) bei 5 GHz und 5517 Å verwendet. Die Berechnung der Fehler für die Leuchtkraftdichten und den Breitbandspektralindex erfolgte mittels Gauss'scher Fehlerfortpflanzung.

3.2 Vorbereitungen für die spektrale Analyse

Die Aufbereitung *ROSAT*/PSPC-Daten für die nachfolgende spektrale Analyse erfolgte mit dem Extended Scientific Analysis System (EXSAS) (Zimmermann *et al.* 1994).

Nach der Identifikation des Beobachtungsobjekte wurden zunächst die registrierten Zählraten (Countrates) der Quellen bestimmt. Dazu wurden die Ereignisse der Quellen aus dem Rohbild ausgeschnitten. Die Radien der ausgeschnittenen Kreise lagen je nach Off-axis-Winkel der Quelle zwischen 150″ und 300″, da die Point Spread Function der Kombination aus *ROSAT*/XRT und *ROSAT*/PSPC mit zunehmendem Abstand zur optischen Achse anwächst (siehe Abb. 2.5). Für die Bestimmung der Hintergrundereignisse wurden entweder Kreisringe um die Quelle mit Radien zwischen 250″ und 500″ oder bei großen Off-axis-Winkeln auch Kreisauschnitte aus der näheren Umgebung der Quelle ausgeschnitten.

Anschließend folgten im Hinblick auf die Totzeit, die Point Spread Function des *ROSAT*/PSPC und die effektive Fläche der Kombination aus *ROSAT*/XRT und *ROSAT*/PSPC jeweils drei Korrekturschritte für die Quell- und Hintergrundereignisse. Die Totzeitkorrektur berücksichtigt, daß der *ROSAT*/PSPC nur alle 170 bis 280 μs ein Ereignis nachweisen kann, weil die Ladungswolke des vorangegangenen Ereignisses den

Nachweis eines weiteren Ereignisses solange behindert (Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik 1991). Die Korrektur auf die Point Spread Function sorgt dafür, daß bei Quellen, die mit einem zu kleinen Radius aus dem Rohbild ausgeschnitten wurden, auch die Ereignisse außerhalb des ausgeschnittenen Kreises mitberücksichtigt werden. Die effektive Fläche der Kombination aus *ROSAT*/XRT und *ROSAT*/PSPC wird berücksichtigt, weil die Nachweiswahrscheinlichkeit von der Energie und dem Off-axis-Winkel der einfallenden Photonen abhängt (siehe Abb. 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5).

Da das Signal-zu-Rausch-Verhältnis der 256 Energiekanäle nicht ausreicht, um alle einzeln für eine spektrale Analyse heranzuziehen, müssen jeweils mehrere zu einem als Bin bezeichneten Intervall zusammengefaßt werden. Da das Energieband des *ROSAT*/PSPC in Kombination mit dem *ROSAT*/XRT nur von 0.1 bis 2.4 keV reicht (Zimmermann *et al.* 1994), wurden für die nachfolgenden Analyse ausschließlich die Energiekanäle $11 - 240$ verwendet, da die Kanäle unterhalb 11 und oberhalb 240 keine brauchbaren Ereignisse enthalten.

Für den Abgleich zwischen der Energie und Kanalnummer n_{phc} eines Energiekanals wurde die Gleichung

$$E = 0.011582 \text{ keV} \cdot n_{phc} + 0.036307 \text{ keV} \tag{3.5}$$

benutzt. Als Faustregel gilt auch, daß die Energie eines Energiekanals gleich der Kanalnummer geteilt durch 100 ist (Zimmermann *et al.* 1994).

Die drei disjunkten Energiebänder in der Standardanalyse der *ROSAT*/PSPC-Daten (Zimmermann *et al.* 1994) entsprechen zwar grob der theoretischen Energieauflösung $\Delta\ E/E = 0.43\,(E/0.93)^{-0.5}$ FWHM. Werden die Energiekanäle $11 - 240$ jedoch nur zu drei Bins zusammengefaßt, geht unter Umständen spektrale Information verloren. Die Grenzen der Bins haben nämlich keine physikalische Bedeutung. Sie können auch anders festgelegt werden. Die Folge ist dann allerdings, daß der Verlauf des Spektrums stark von der Einteilung bestimmt wird. Um das zu vermeiden, ist ein gewisses Oversampling erforderlich. Je nach Anzahl der Ereignisse wurden die Energiekanäle $11 - 240$ daher mit einem fest vorgegebenen Signal-zu-Rausch-Verhältnis > 5 in sieben bis 14 Bins zusammengefaßt. Bei Signal-zu-Rausch-Verhältnissen ≥ 9 waren es teilweise sogar mehr als 14 Bins und bei niedrigen Signal-zu-Rausch-Verhältnissen weniger als sieben.

Die Angaben hierzu finden sich in Tab. 6.4 im Anhang, in der die ROSAT Observation Request-Nummern (ROR-Nr.) für die Identifikation der Beobachtungen, die Datumsangaben für das Beobachtungsende, die Beobachtungsdauern, die off-axis-Winkel, die Ereignisse, die Signal-zu-Rausch-Verhältnisse (S/R), die Bins für die Energiekanäle 11 – 240 und die Bins unterhalb 0.5 keV aufgelistet sind.

Falls für eine Quelle mehrere *ROSAT*/PSPC-Beobachtungen verfügbar waren, fiel die Wahl auf die mit der höchsten Zahl an Ereignissen. Die Kombination von mehreren Beobachtungen wurde ausgeschlossen, um bei zeitvariablen Quellen keine Mischung der Spektren vorzunehmen.

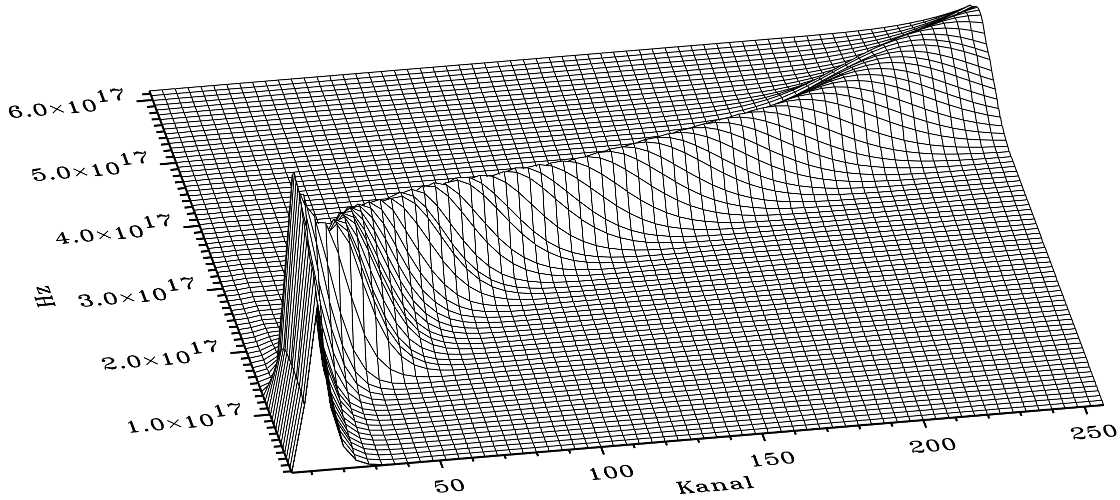


Abb. 3.1: *Die Detektorresponsematrix DRM_{ij} für den ROSAT/PSPC (Friedrich 1994). Das Frequenzband des ROSAT/PSPC reicht von* $0.24 - 5.81 \cdot 10^{17}$ *Hz (1 keV* $\widehat{=} \; 2.42 \cdot 10^{14}$ *Hz).*

Auch nach dem Binnen lassen sich die gemessenen Zählraten nicht einfach einem echten Spektrum zuordnen. Vielmehr ist es nötig, vorab Modellspektren unter Verwendung der Detektoreigenschaften in Zählratenspektren umzurechnen, um diese dann mit den tatsächlich gemessenen Zählratenspektren vergleichen zu können. Dieser Umweg ist erforderlich, weil die Faltung eines Spektrums mit der effektiven Fläche für die Kombination aus *ROSAT*/XRT und *ROSAT*/PSPC und der Detektorresponsematrix nicht eindeutig umkehrbar ist. Die Detektorresponsematrix gibt für jede Energie E eines eintreffenden Photons an, mit welcher Wahrscheinlichkeit $P(E,i)$ ein Ereignis im Kanal i registriert wird. Für ein in j Intervalle eingeteiltes Energieband lassen sich die Wahrscheinlichkeitsverteilungen $P(E_j,i)$ aller Energieintervalle E_j und Kanäle i zu einer Detektorresponsematrix DRM_{ij} zusammenfassen (siehe Abb. 3.1). Da in die Wahrscheinlichkeitsverteilungen sowohl die Energieauflösung als auch die übrigen Kennwerte des Detektors eingehen, muß die Matrix durch Kalibrationsmessungen bestimmt werden. Zur spektralen Analyse der *ROSAT*/PSPC-Daten stehen je nach Zeitpunkt der

Beobachtung zwei verschiedene Matrizen zur Verfügung. Für die Verifikationsphase, die Himmelsdurchmusterung (*ROSAT* All Sky Survey, RASS) und die Phase AO1 wird die Version 06 vom 11. März 1992 empfohlen und für alle späteren Beobachtungen die Version 36, da die Betriebsspannung des *ROSAT*/PSPC im Oktober 1991 abgesenkt wurde (Zimmermann *et al.* 1994).

3.3 Einfaches Potenzgesetz

Für die Anpassung (Fit) eines einfachen Potenzgesetzes an ein *ROSAT*/PSPC-Spektrum, wurde die in Kapitel 2.3 gegebene Gl. (2.1) verwendet, wobei in dieser Arbeit $N_{\rm H}$ die Säulendichte des neutralen atomaren Wassserstoffs ist und $\sigma(E)$ der nach Morrison & McCammon (1983) berechnete Wirkungsquerschnitt für die Absorption, dem die Annahme zugrunde liegt, daß die Elementhäufigkeiten auf der Sichtlinie zur Quelle jenen der galaktischen interstellaren Materie entsprechen.

Sowohl bei den Fits mit der Säulendichte des neutralen Wasserstoffs in unserer Galaxis $N_{\rm H,gal}$, als auch bei den Fits mit einer frei wählbaren Wasserstoffsäulendichte ($N_{\rm H,frei}$) waren der Photonenfluß I_0 bei der Referenzenergie E_0 und der Spektralindex α freie Parameter. Die Referenzenergie E_0 wurde mit ungefähr in der Mitte des Energiebandes auf 1 keV festgesetzt, um die Parameter des Fits möglichst unabhängig voneinder zu halten. Bei den Fits mit galaktischem $N_{\rm H}$ wurde auf Werte zurückgegriffen, die von Radiobeobachtungen bei einer Wellenlänge von 21 cm bekannt sind (Elvis *et al.* 1986, Elvis *et al.* 1989, Stark *et al.* 1992, siehe auch Abb. 3.2 und Tab. 6.5 im Anhang).

Die Ergebnisse der Fits mit galaktischem $N_{\rm H}$ und der Fits mit freiem $N_{\rm H}$ sind in den Tab. 6.5 und 6.6 im Anhang aufgelistet. In den Spalten sind jeweils die Wasserstoffsäulendichte $N_{\rm H,gal}$ bzw. $N_{\rm H,frei}$, der Photonenfluß $I_{\rm 1keV,gal}$ bzw. $I_{\rm 1keV,frei}$ bei 1 keV, der Spektralindex $\alpha_{\rm 0.1-2.4,gal}$ bzw. $\alpha_{\rm 0.1-2.4,frei}$, das reduzierte Chiquadrat $\chi^2_{red,\rm gal}$ bzw. $\chi^2_{red,\rm gal}$ und die Anzahl der dazugehörigen Freiheitsgrade des Fits (d.o.f = degrees of freedom) eingetragen. Die angegebenen Fehler der Fits sind 1σ-Fehler (68% Signifikanzniveau, $\chi^2_{min} + 2.28$ für zwei freie Parameter bzw. $\chi^2_{min} + 3.51$ für drei freie Parameter) (Lampton *et al.* 1976). Die von Elvis *et al.* (1986, 1989) angegebenen 1.6σ-Fehler (90% Signifikanzniveau) für das galaktische $N_{\rm H}$ wurden in der vorliegenden Arbeit aus Gründen der Einheitlichkeit durch Division mit 1.6 in ungefähre 1σ-Fehler umgerechnet.

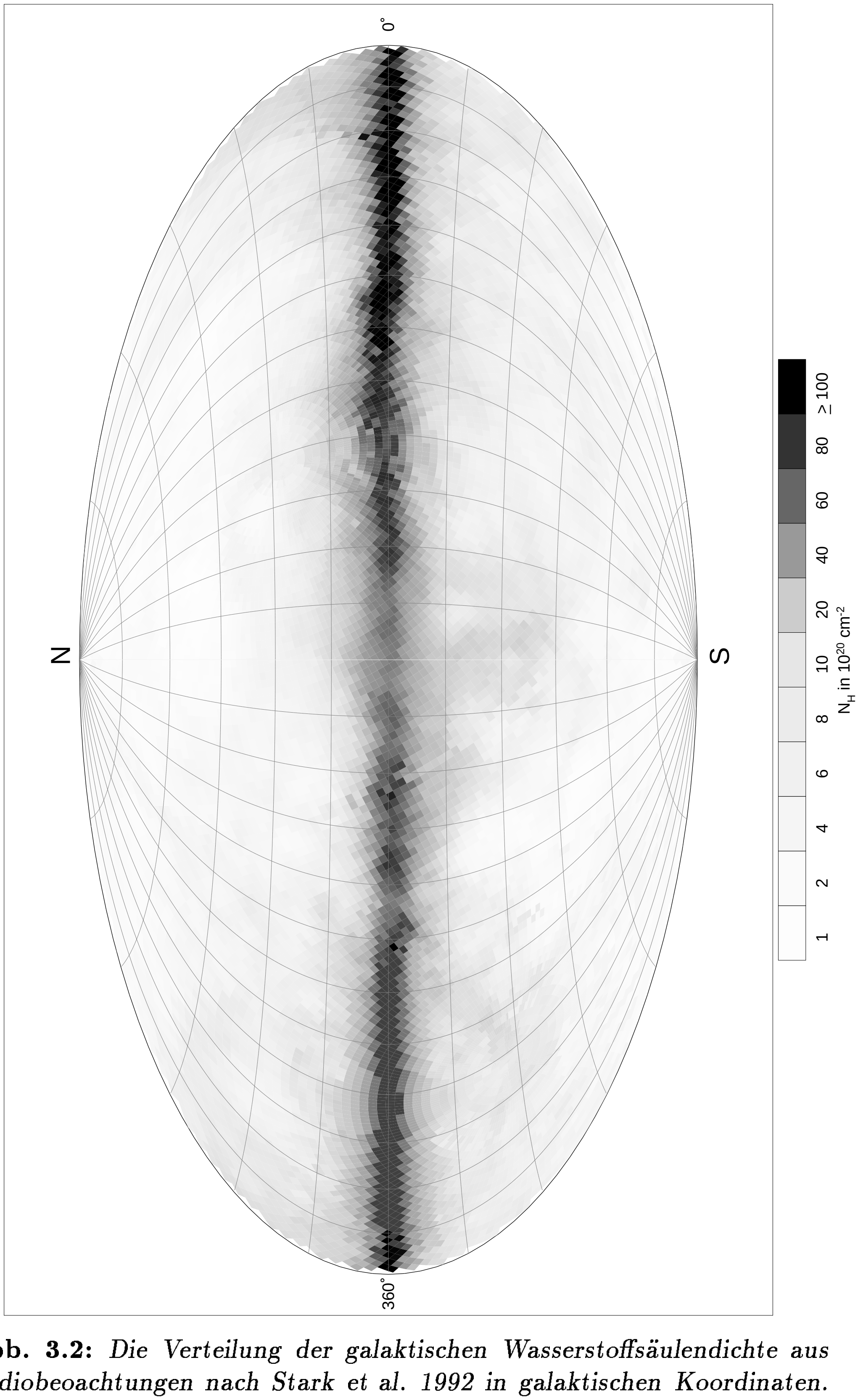


Abb. 3.2: *Die Verteilung der galaktischen Wasserstoffsäulendichte aus Radiobeoachtungen nach Stark et al. 1992 in galaktischen Koordinaten. Deutlich ist die galaktische Scheibe zu sehen, die im weichen Röntgenbereich völlig undurchsichtig ist.*

3.3.1 Qualität der Fitergebnisse

Das 68-Quellen-Sample läßt sich anhand der Qualität der Fits in Subsample unterteilen (siehe Tab. 3.2).

Gute Fits

Für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ sind die χ^2_{red} nur bei 27 der 68 Quellen im Sample ≤ 1.5 (siehe Tab. 3.3). In diesen Fällen stimmen die Fits recht gut mit den gemessenen Spektren überein, denn das Signifikanzniveau ist bis zu einer Zahl von 30 Freiheitsgraden (d.o.f.) immer noch $> 5\%$ (Taylor 1988, Bronštein & Semendjaev 1991). Für die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ sind die χ^2_{red} bei 37 Quellen ≤ 1.5 (siehe Tab. 3.4), wobei von diesen bereits für 26 die χ^2_{red} der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}} \leq 1.5$ sind (siehe Abb. 3.3).

Tabelle 3.2: *Das 68-Quellen-Sample läßt sich anhand der Qualität der Fits in Subsample unterteilen.*

Fit mit $N_{\mathrm{H,gal}}$		Fit mit $N_{\mathrm{H,frei}}$			
N	$\chi^2_{red,gal}$	N	$\chi^2_{red,frei}$	N	Kennzeichen
27	< 1.5	26	< 1.5	26	Die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ stimmen gut mit dem Verlauf der gemessenen Spektren überein
		1	> 1.5	1	Für den Fit mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ ist das χ^2 kaum kleiner als beim Fit mit $N_{\mathrm{H,gal}}$. Da der Wert für $\chi^2_{red,gal}$ nur knapp unter 1.5 liegt, führt der zusätzliche Freiheitsgrad beim Fit mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ dazu, daß $\chi^2_{red,frei}$ größer 1.5 wird
41	> 1.5	11	< 1.5	3	Konkave Knicke in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$
				8	Konvexe Knicke in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$
		30	> 1.5	17	Konkave Knicke in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$
				13	Verschiedene Strukturen in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$

Die elf zusätzlichen Quellen (siehe Tab. 3.5), deren χ^2_{red} für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}} > 1.5$, für die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ aber ≤ 1.5 sind, lassen sich anhand der Differenz zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ in zwei Gruppen einteilen (siehe Tab. 3.2). Die Signifikanz S^a_b der Differenz zweier Werte a und b berechnet sich dabei allgemein wie folgt:

Tabelle 3.3: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 27 Quellen mit* $\chi^2_{red,gal} \leq 1.5$.

Objekt	IAU-Name	Klasse
S5 0014+81	0014+813	Q
PG 0026+12	0026+129	Q
MARK 352	0057+315	Sy 1.0
MARK 1152	0111−151	Sy 1.5
MARK 590	0212−009	Sy 1.2
3C 111.0	0415+379	Sy 1.0
NGC 1566	0418−550	Sy 1.0
AKN 120	0513−002	Sy 1.0
PKS 0637−75	0637−752	Q
PG 0804+761	0804+761	Q
3C 263	1137+660	Q
PKS 1159−036	1159−036	Q
NGC 4593	1237−050	Sy 1.0
3C 279	1253−055	Q

Objekt	IAU-Name	Klasse
PG 1416−129	1416−129	Q
PKS 1510−08	1510−089	Q
3C 345.0	1641+399	Q
MARK 506	1720+309	Sy 1.5
B2 1721+34	1721+343	Q
ESO 141−G55	1916−587	Sy 1.0
4C 73.18	1928+738	Q
NGC 6814	1939−104	Sy 1.0
PKS 2126−15	2126−158	Q
II ZW 136	2130+099	Sy 1.0
PKS 2135−14	2135−147	Q
OX 169	2141+175	Q
B2 2201+31A	2201+315	Q

Tabelle 3.4: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 37 Quellen mit* $\chi^2_{red,frei} \leq 1.5$.

Objekt	IAU-Name	Klasse
III ZW 2	0007+106	Sy 1.0
S5 0014+81	0014+813	Q
PG 0026+12	0026+129	Q
MARK 352	0057+315	Sy 1.0
MARK 1152	0111−151	Sy 1.5
MARK 590	0212−009	Sy 1.2
3C 111.0	0415+379	Sy 1.0
NGC 1566	0418−550	Sy 1.0
3C 120	0430+052	Sy 1.0
AKN 120	0513−002	Sy 1.0
PKS 0518−45	0518−458	Sy 1.0
PKS 0637−75	0637−752	Q
MARK 79	0738+499	Sy 1.2
PG 0804+761	0804+761	Q
NGC 3031	0951+693	Sy 1.0
3C 263	1137+660	Q
PKS 1159−036	1159−036	Q
MARK 205	1219+755	Sy 1.0
NGC 4593	1237−050	Sy 1.0

Objekt	IAU-Name	Klasse
3C 279	1253−055	Q
MARK 464	1353+388	Sy 1.5
PG 1416−129	1416−129	Q
3C 345.0	1641+399	Q
MARK 506	1720+309	Sy 1.5
B2 1721+34	1721+343	Q
3C 390.3	1845+797	Sy 1.0
ESO 141−G55	1916−587	Sy 1.0
4C 73.18	1928+738	Q
NGC 6814	1939−104	Sy 1.0
MARK 509	2041−109	Sy 1.0
PKS 2126−15	2126−158	Q
II ZW 136	2130+099	Sy 1.0
PKS 2135−14	2135−147	Q
OX 169	2141+175	Q
B2 2201+31A	2201+315	Q
3C 445.0	2221−023	Sy 1.0
3C 454.3	2251+158	Q

Tabelle 3.5: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 11 Quellen mit* $\chi^2_{red,gal} > 1.5$ *und* $\chi^2_{red,frei} \leq 1.5$.

Objekt	IAU-Name	Klasse
III ZW 2	0007+106	Sy 1.0
3C 120	0430+052	Sy 1.0
PKS 0518−45	0518−458	Sy 1.0
MARK 79	0738+499	Sy 1.2
NGC 3031	0951+693	Sy 1.0
MARK 205	1219+755	Sy 1.0

Objekt	IAU-Name	Klasse
MARK 464	1353+388	Sy 1.5
3C 390.3	1845+797	Sy 1.0
MARK 509	2041−109	Sy 1.0
3C 445.0	2221−023	Sy 1.0
3C 454.3	2251+158	Q

$$S_b^a = \begin{cases} \frac{a-b}{\sqrt{(-\sigma_a)^2+(+\sigma_b)^2}} & \text{falls } a \geq b \\ \frac{a-b}{\sqrt{(+\sigma_a)^2+(-\sigma_b)^2}} & \text{sonst} \end{cases} \tag{3.6}$$

wobei $+\sigma$ der obere und $-\sigma$ der untere 1σ-Fehler des Parameters a bzw. b ist.

Bei drei der elf Quellen ($1353+388$, $2041-109$ und $2221-023$) ist $S_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}} > 1$. In diesen Fällen ist $N_{\mathrm{H,frei}}$ mit einer Signifikanz von mindestens 1σ kleiner als $N_{\mathrm{H,gal}}$. Allen drei Quellen ist gemeinsam, daß in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ deutlich konkave Knicke zu erkennen sind. Das führt dazu, daß bei den Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ eine niedrigere Wasserstoffsäulendichte als $N_{\mathrm{H,gal}}$ gewählt wird. Auf diese Weise wird dem im Vergleich zum Energieband $k - 2.4$ keV ansteigenden Photonenfluß unterhalb der Knickenergie k Rechnung getragen. In den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ sind dann keine konkaven Knicke mehr zu erkennen (siehe Abb. 3.4).

Für acht der elf Quellen ($0007+106$, $0430+052$, $0518-458$, $0738+499$, $0951+693$, $1219+755$, $1845+797$ und $2251+158$) ist $S_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}} < -1$. In diesen Fällen ist $N_{\mathrm{H,frei}}$ mit einer Signifikanz von mindestens 1σ größer als $N_{\mathrm{H,gal}}$. Auf eine gegenüber $N_{\mathrm{H,gal}}$ erhöhte Absorption weisen auch die konvexen Knicke in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ hin (siehe Abb. 3.5). Bei drei von ihnen ($0007+106$, $0430+052$ und und $2251+158$) macht der Binanteil unterhalb 0.5 keV weniger als 1/10 aus, obwohl der Bereich $0.1-0.5$ keV etwa 1/6 des Energiebandes $0.1-2.4$ keV abdeckt (siehe Tab. 6.4 im Anhang). In diesen Fällen führt die erhöhte Absorption in den Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ zu kleinen, teilweise sogar zu negativen Spektralindizes (siehe Tab. 6.5 im Anhang). Für diese Quellen liefern auch die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ nur formal bessere Ergebnisse. Wasserstoffsäulendichte und Spektralindex werden zwar durchweg angehoben, sind aber dennoch nicht glaubwürdig. Die Werte für $N_{\mathrm{H,frei}}$ sind mit großen Fehlern behaftet und die Spektralindizes sind weiterhin zu klein oder negativ (siehe Tab. 6.6 im Anhang).

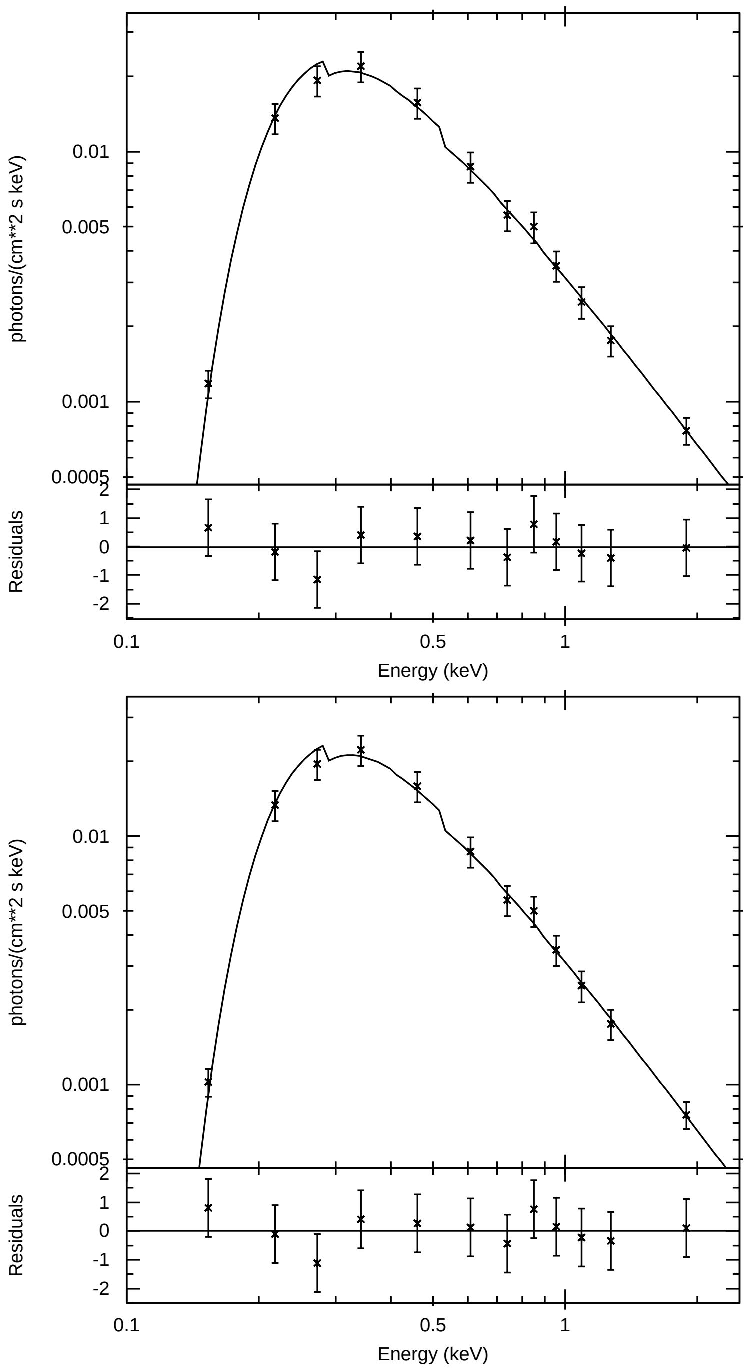


Abb. 3.3: *Beim Quasar B2 1721+343 stimmt sowohl der Fit mit* $N_{\mathrm{H,gal}} = 3.06 \pm 0.09 \cdot 10^{20} \mathrm{cm}^2$ *(oben) als auch der Fit mit* $N_{\mathrm{H,frei}} = 3.19^{+1.14}_{-1.00} \cdot 10^{20} \mathrm{cm}^2$ *(unten) gut mit dem gemessenen Spektrum überein* ($\chi^2_{red,gal}$ *(d.o.f.)* $= 0.32$ (10) *und* $\chi^2_{red,frei}$ *(d.o.f.)* $= 0.34$ (9), *siehe Tab. 6.5 und 6.6 im Anhang).*

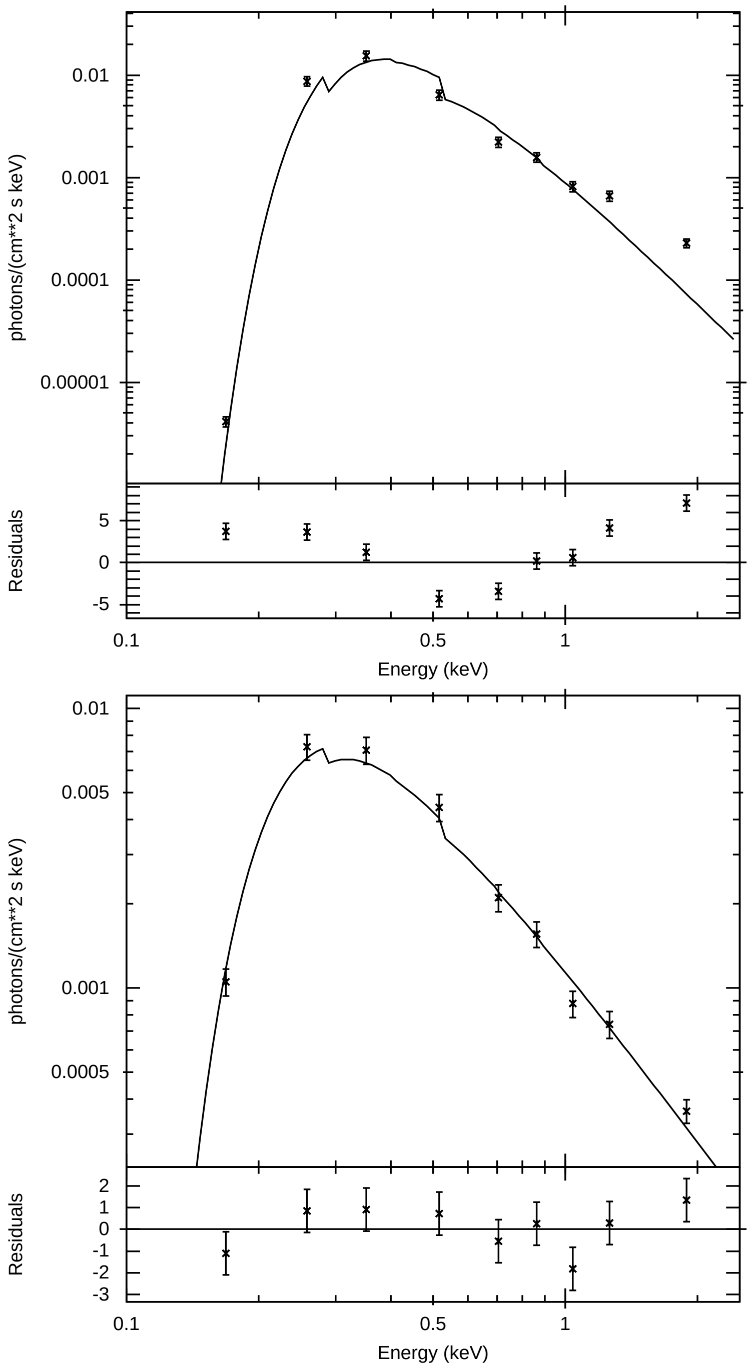


Abb. 3.4: *Bei der Seyfert-1.5.-Galaxie MARK 464 (1353+388) führt der Fit mit* $N_{\mathrm{H,frei}} = 2.73^{+0.92}_{-0.86} \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(unten) zu einem besseren Ergebnis als der Fit mit* $N_{\mathrm{H,gal}} = 9.86 \pm 0.63 \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(oben)* ($\chi^2_{red,gal}$ *(d.o.f.)* $= 17.91$ (7) *und* $\chi^2_{red,frei}$ *(d.o.f.)* $= 1.47$ (6)*, siehe Tab. 6.5 und 6.6 im Anhang). Der konkave Knick in den Residuen des Fits mit* $N_{\mathrm{H,gal}}$ *wird durch ein* $N_{\mathrm{H,frei}}$ *ausgeglichen, das signifikant kleiner ist als* $N_{\mathrm{H,gal}}$ ($S^{N_{\mathrm{H,gal}}}_{N_{\mathrm{H,frei}}} = 6.40$).

Schlechte Fits

Bei 30 Quellen sind sowohl die χ^2_{red} für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ als auch die χ^2_{red} für die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}} > 1.5$. In diesen Fällen stimmen die Fits nur schlecht mit den gemessenen Spektren überein.

Tabelle 3.6: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 30 Quellen mit* $\chi^2_{red,gal} > 1.5$ *und* $\chi^2_{red,frei} > 1.5$.

Objekt	IAU-Name	Klasse
FAIRALL 9	0121−590	Sy 1.0
3C 47	0133+207	Q
NGC 985	0232−090	Sy 1.5
ESO 198−G24	0236−524	Sy 1.0
NRAO 140	0333+321	Q
NGC 3227	1020+201	Sy 1.5
B2 1028+31	1028+313	Q
NGC 3516	1103+728	Sy 1.5
PG 1121+422	1121+423	Q
MARK 40	1122+546	Sy 1.0
NGC 3783	1136−374	Sy 1.0
NGC 4051	1200+448	Sy 1.0
NGC 4151	1208+396	Sy 1.5
MARK 766	1215+300	Sy 1.5
3C 273	1226+023	Q

Objekt	IAU-Name	Klasse
PG 1307+085	1307+085	Q
MCG−6−30−15	1333−340	Sy 1.0
IC 4329A	1346−300	Sy 1.0
MARK 279	1351+695	Sy 1.0
NGC 5548	1415+253	Sy 1.5
MARK 1383	1426+015	Sy 1.0
MARK 841	1501+106	Q
MARK 290	1534+580	Sy 1.0
1E 1615+061	1615+061	Sy 1.0
KUV 18217+6419	1821+643	Q
NGC 7213	2206−474	Sy 1.0
3C 446	2223−052	Q
MR 2251−178	2251−178	Q
NGC 7469	2300+086	Sy 1.0
MARK 926	2302−089	Sy 1.5

Tabelle 3.7: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der elf Quellen, bei denen sowohl* $Q(F)^{gal}_{dpl}$ *als auch* $Q(F)^{frei}_{dpl} \leq 0.32$ *ist.*

Objekt	IAU-Name	Klasse
ESO 198−G24	0236−524	Sy 1.0
NGC 3516	1103+728	Sy 1.5
NGC 3783	1136−374	Sy 1.0
3C 273	1226+023	Q
PG 1307+085	1307+085	Q
MCG−6−30−15	1333−340	Sy 1.0

Objekt	IAU-Name	Klasse
NGC 5548	1415+253	Sy 1.5
MARK 841	1501+106	Q
MARK 290	1534+580	Sy 1.0
NGC 7213	2206−474	Sy 1.0
MR 2251−178	2251−178	Q

In über der Hälfte der Fälle ist dies darauf zurückzuführen, daß die Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ Anzeichen für einen konkaven Knick im Spektrum aufweisen. Bei elf der 30 Quellen (siehe Tab. 3.7) tritt der konkave Knick in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$

und $N_{\mathrm{H,frei}}$ so deutlich in Erscheinung, daß die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ zu signifikant besseren Ergebnissen führen (siehe Kap. 3.4). Augenscheinlich konkave Knicke, sowohl in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ als auch in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ zeigen auch sechs weitere Quellen (0232−090, 1028+313, 1200+448, 1208+396, 1215+300, 2300+086). In diesen Fällen führen die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ jedoch nicht zu wirklich signifikant besseren Ergebnissen.

In den übrigen Fällen läßt sich die Ursache der schlechten Übereinstimmung mit Ausnahme von zwei stark absorbierten Quellen, bei denen der Binanteil unterhalb 0.5 keV weniger als 1/10 ausmacht, nicht bestimmen. In den Residuen sind zwar augenscheinlich Signaturen zu erkennen, die Statistik der Meßdaten reicht jedoch nicht aus, um nähere Aussagen über ihre Ursache machen zu können (siehe Abb. 3.7).

3.3.2 Ergebnisse für die Absorption

Aus den Berechnungen der Signifikanzen für die Differenz zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ nach Gl. (3.6) geht hervor, daß $N_{\mathrm{H,frei}}$ für zwei Drittel der Quellen im Sample größer und für ein Drittel der Quellen im Sample kleiner als $N_{\mathrm{H,gal}}$ ist (siehe Spalte $S_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$ in Tab. 6.7 im Anhang). In den vorangegangenen Betrachtungen ist bereits angedeutet worden, daß sich ausgewählte Subsample hinsichtlich ihrer Differenz zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ unterscheiden. Wie diese Unterschiede mit der Klassifikation der Quellen und dem Verlauf ihrer Spektren in Zusammenhang stehen, läßt sich mit einer Methode zeigen, die statistische Aussagen über die intrinsische Verteilung eines Parameters erlaubt.

Berechnung der intrinsischen Verteilung

Unter der Annahme, daß für ein Sample von Quellen sowohl die intrinsische Verteilung x_{intr} der Meßwerte x_i als auch die Verteilung der zu den Meßwerten gehörigen Fehler σ_{x_i} einer Gaußverteilung der Form

$$f(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_a}} \cdot \exp\left(-\frac{(a - \langle a \rangle)^2}{2\sigma_a^2}\right) \tag{3.7}$$

genügt, kann aus der Verteilung der Meßwerte und aus der Verteilung der Fehler die intrinsische Verteilung der Meßwerte mittels der *likelihood function*

$$\mathcal{L} = \prod_i \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_{x_{intr}}^2 + \sigma_{x_i}^2)}} \cdot \exp\left(-\frac{(x_i - \langle x_{intr} \rangle)^2}{2(\sigma_{x_{intr}}^2 + \sigma_{x_i}^2)}\right)\right] \tag{3.8}$$

bestimmt werden, wobei σ_a das σ der Gaußverteilung ist, $\langle x_{intr} \rangle$ der Mittelwert der gesuchten intrinsischen Verteilung ist und $\sigma_{x_{intr}}$ die dazugehörige Breite (Maccacaro *et al.* 1988).

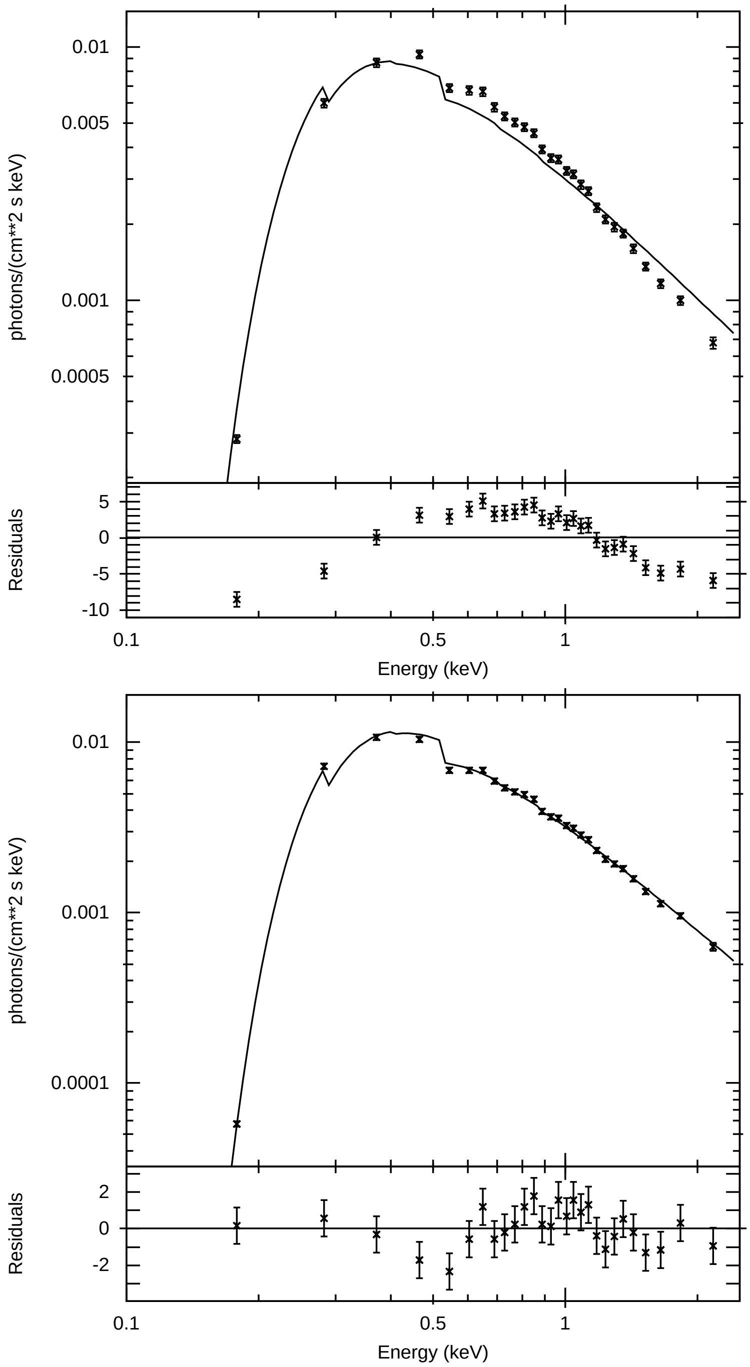


Abb. 3.5: *Bei der Seyfert-1.0.-Galaxie NGC 3031 (0951+693) führt der Fit mit* $N_{\mathrm{H,frei}} = 6.77^{+0.29}_{-0.27} \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(unten) zu einem besseren Ergebnis als der Fit mit* $N_{\mathrm{H,gal}} = 4.31 \pm 0.63 \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(oben)* ($\chi^2_{red,gal}$ *(d.o.f.)* $= 14.23$ (26) *und* $\chi^2_{red,frei}$ *(d.o.f.)* $= 1.18$ (25), *siehe Tab. 6.5 und 6.6 im Anhang). Der konvexe Knick in den Residuen des Fits mit* $N_{\mathrm{H,gal}}$*, der auf eine erhöhte Absorption hinweist, wird durch ein* $N_{\mathrm{H,frei}}$ *ausgeglichen, das signifikant größer ist als* $N_{\mathrm{H,gal}}$ ($S^{N_{\mathrm{H,gal}}}_{N_{\mathrm{H,frei}}} = -3.61$).

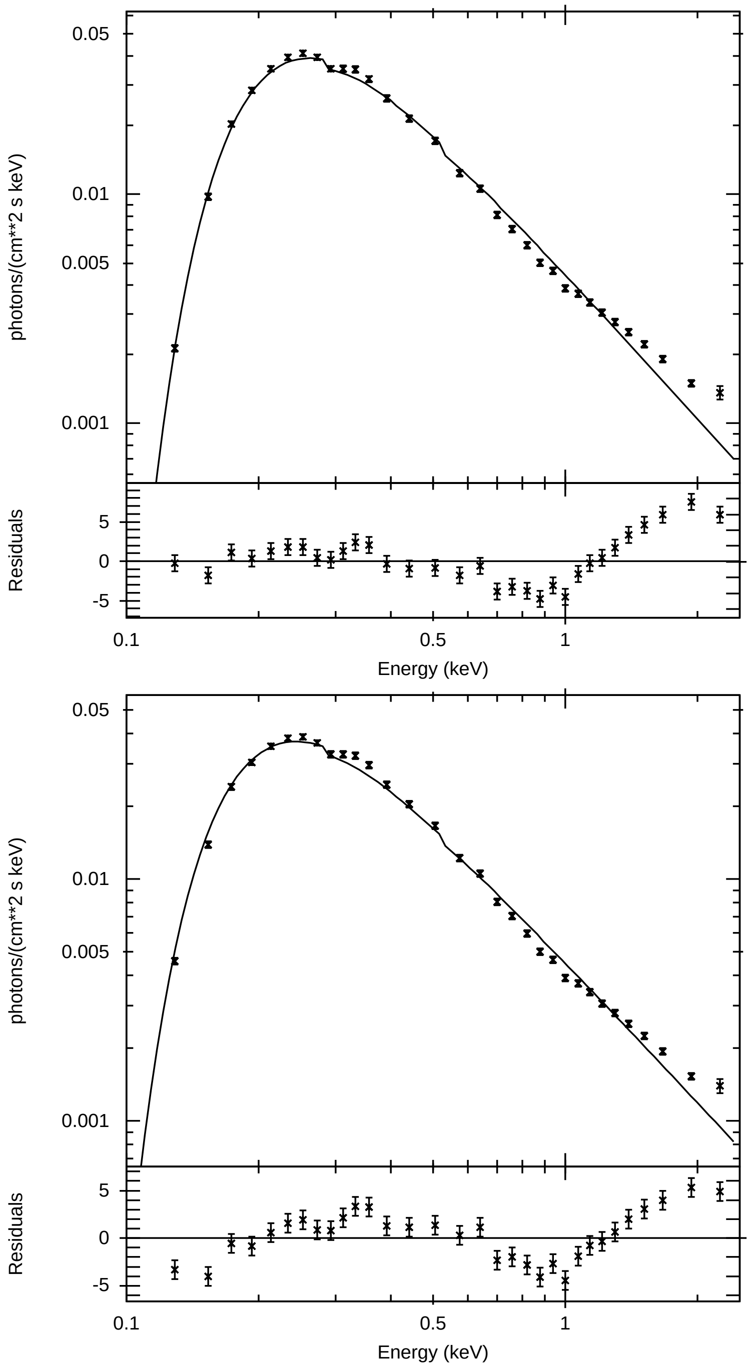


Abb. 3.6: *Bei der Seyfert-1.5-Galaxie NGC 5548 (1415+253) ist weder das Ergebnis des Fits mit* $N_{\mathrm{H,gal}} = 1.80 \pm 0.63 \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(oben) noch das Ergebnis des Fits mit* $N_{\mathrm{H,frei}} = 1.37^{+0.08}_{-0.11} \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(unten) befriedigend* ($\chi^2_{red,gal}$ *(d.o.f.)* $= 9.54$ (30) *und* $\chi^2_{red,frei}$ *(d.o.f.)* $= 7.40$ (29), *siehe Tab. 6.5 und 6.6 im Anhang). In beiden Fällen ist in den Residuen ein konkaver Knick zu erkennen. Der Fit mit einem doppelten Potenzgesetz und* $N_{\mathrm{H,gal}}$ *führt daher zu einem signifikant besseren Ergebnis (siehe Kap. 3.4).*

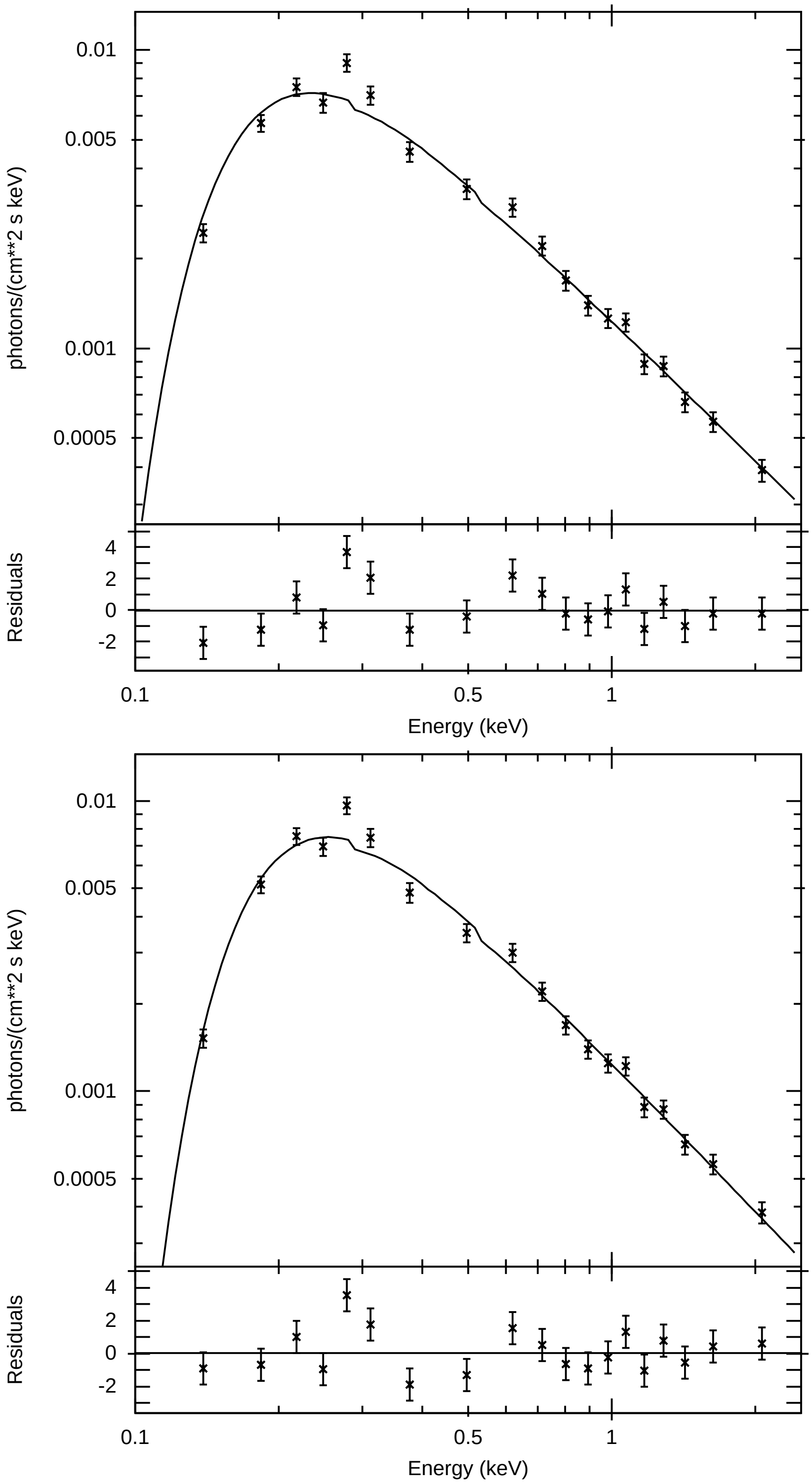


Abb. 3.7: *Bei der Seyfert-1.0-Galaxie MARK 40 (1122+546) ist weder das Ergebnis des Fits mit* $N_{\mathrm{H,gal}} = 0.99 \pm 0.63 \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(oben) noch das Ergebnis des Fits mit* $N_{\mathrm{H,frei}} = 1.35^{+0.31}_{-0.29} \cdot 10^{20}\mathrm{cm}^2$ *(unten) befriedigend* ($\chi^2_{red,gal}$ *(d.o.f.)* $= 2.22$ (17) *und* $\chi^2_{red,frei}$ *(d.o.f.)* $= 2.01$ (16), *siehe Tab. 6.5 und 6.6 im Anhang). In den Residuen sind zwar augenscheinlich Signaturen zu erkennen, die Statistik der Meßdaten reicht jedoch nicht aus, um nähere Aussagen über ihre Ursache machen zu können.*

Für die gesuchte intrinsische Verteilung wird $\mathcal{L}$ maximal. Die χ^2-verteilte Größe

$$S = -2\ln\mathcal{L} \tag{3.9}$$

ist in diesem Fall minimal. Für alle anderen Kombinationen von $\langle x_{intr}\rangle$ und $\sigma_{x_{intr}}$ ist $\mathcal{L} < \mathcal{L}_{max}$ und $S > S_{min}$. Wird S für ein Raster von Kombinationen von $\langle x_{intr}\rangle$ und $\sigma_{x_{intr}}$ berechnet, ergeben sich die Konturen der 68%- und 90%-Signifikanzniveaus bzw. der 1σ- und 1.6σ-Fehler bei zwei freien Parametern aus $S_{min} + 2.30$ bzw. $S_{min} + 4.61$ (Lampton *et al.* 1976)

Um die intrinsische Verteilung der relativen Differenzen zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ zu berechnen, wurde in Gl. (3.8)

$$x = \Delta N_{\mathrm{H}} = \frac{N_{\mathrm{H,gal}} - N_{\mathrm{H,frei}}}{N_{\mathrm{H,gal}}} \tag{3.10}$$

und das mittels Fehlerfortpflanzung berechnete

$$\sigma = \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{N_{\mathrm{H,gal}}}\cdot N_{\mathrm{H,frei}}}{N_{\mathrm{H,gal}}{}^2}\right)^2 + \left(\frac{+\sigma_{N_{\mathrm{H,frei}}}}{N_{\mathrm{H,gal}}}\right)^2} & \text{falls } N_{\mathrm{H,gal}} \geq N_{\mathrm{H,frei}} \\ \sqrt{\left(\frac{\sigma_{N_{\mathrm{H,gal}}}\cdot N_{\mathrm{H,frei}}}{N_{\mathrm{H,gal}}{}^2}\right)^2 + \left(\frac{-\sigma_{N_{\mathrm{H,frei}}}}{N_{\mathrm{H,gal}}}\right)^2} & \text{sonst} \end{cases} \tag{3.11}$$

gesetzt, wobei $\sigma_{N_{\mathrm{H,gal}}}$ der 1σ-Fehler für $N_{\mathrm{H,gal}}$ ist, $-\sigma_{N_{\mathrm{H,frei}}}$ der untere 1σ-Fehler für $N_{\mathrm{H,frei}}$ und $+\sigma_{N_{\mathrm{H,frei}}}$ der obere 1σ-Fehler für $N_{\mathrm{H,frei}}$.

Modellabhängige Unterschiede

Aufschlußreich ist insbesondere eine Unterteilung des Sample, die danach unterscheidet, wie groß das χ^2_{red} für die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ ist und ob die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ besser mit den gemessenen Spekytren übereinstimmen als die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$. Wie das Ergebnis zeigt (siehe Tab. 3.8 und Abb. 3.8), ist der Mittelwert $\langle\Delta N_{\mathrm{H}}\rangle$ für die intrinsische Verteilung der relativen Differenzen zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ nur für die 27 Quellen mit Null verträglich, bei denen $\chi^2_{red,gal} \leq 1.5$ ist (siehe Tab. 3.3). Für die übrigen 41 Quellen (siehe Tab. 3.9 und 3.10) mit $\chi^2_{red,gal} > 1.5$, die wiederum in zwei Subsample unterteilt werden können, je nachdem ob die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ besser mit den gemessenen Spektren übereinstimmen als die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ (siehe Kap. 3.4), weichen die $\langle\Delta N_{\mathrm{H}}\rangle$ dagegen deutlich von Null ab.

Im Subsample mit $\langle\Delta N_{\mathrm{H}}\rangle > 0$ (siehe Tab. 3.9) zeichnen sich die 14 Quellen dadurch aus, daß bei ihnen durchweg in den Residuen der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz

Tabelle 3.8: *Unterteilung des 68-Quellen-Sample anhand von $\chi^2_{red,gal}$ und $Q(F)^{gal}_{dpl}$.*

N	$\chi^2_{red,gal}$	N	$Q(F)^{gal}_{dpl}$	Kennzeichen
27	< 1.5	27	> 0.32	Die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ stimmen gut mit dem Verlauf der gemessenen Spektren überein
41	> 1.5	27	> 0.32	Verschiedene Signaturen in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, z.B. konvexe Knicke Die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz führen nicht zu einem besseren Ergebnis
		14	< 0.32	Konkave Knicke in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$. Die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz führen zu besseren Ergebnissen

und $N_{\mathrm{H,gal}}$ deutliche Anzeichen für konkave Knicke zu erkennen sind. Sie führen dazu, daß bei den Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,frei}}$ für die Wasserstoffsäulendichte in der Regel ein kleinerer Wert als $N_{\mathrm{H,gal}}$ gewählt wird, um dem gegenüber dem Energieband $k - 2.4$ keV ansteigenden Photonenfluß unterhalb der Knickenergie k Rechnung zu tragen.

Tabelle 3.10: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 27 Quellen mit $\chi^2_{red,gal} > 1.5$ und $Q(F)^{gal}_{dpl} > 0.32$.*

Objekt	IAU-Name	Klasse
III ZW 2	0007+106	Sy 1.0
FAIRALL 9	0121−590	Sy 1.0
3C 47	0133+207	Q
NGC 985	0232−090	Sy 1.5
NRAO 140	0333+321	Q
3C 120	0430+052	Sy 1.0
PKS 0518−45	0518−458	Sy 1.0
MARK 79	0738+499	Sy 1.2
NGC 3031	0951+693	Sy 1.0
NGC 3227	1020+201	Sy 1.5
B2 1028+31	1028+313	Q
PG 1121+422	1121+423	Q
MARK 40	1122+546	Sy 1.0
NGC 4051	1200+448	Sy 1.0

Objekt	IAU-Name	Klasse
NGC 4151	1208+396	Sy 1.5
MARK 766	1215+300	Sy 1.5
MARK 205	1219+755	Sy 1.0
IC 4329A	1346−300	Sy 1.0
MARK 279	1351+695	Sy 1.0
MARK 464	1353+388	Sy 1.5
MARK 1383	1426+015	Sy 1.0
3C 390.3	1845+797	Sy 1.0
3C 445.0	2221−023	Sy 1.0
3C 446	2223−052	Q
3C 454.3	2251+158	Q
NGC 7469	2300+086	Sy 1.0
MARK 926	2302−089	Sy 1.5

Die 27 Quellen, die im Subsample mit $\langle \Delta N_{\mathrm{H}} \rangle < 0$ enthalten sind (siehe Tab. 3.10), zeichnen sich nicht durch einheitliche Signaturen in den Residuen aus. Bei über der

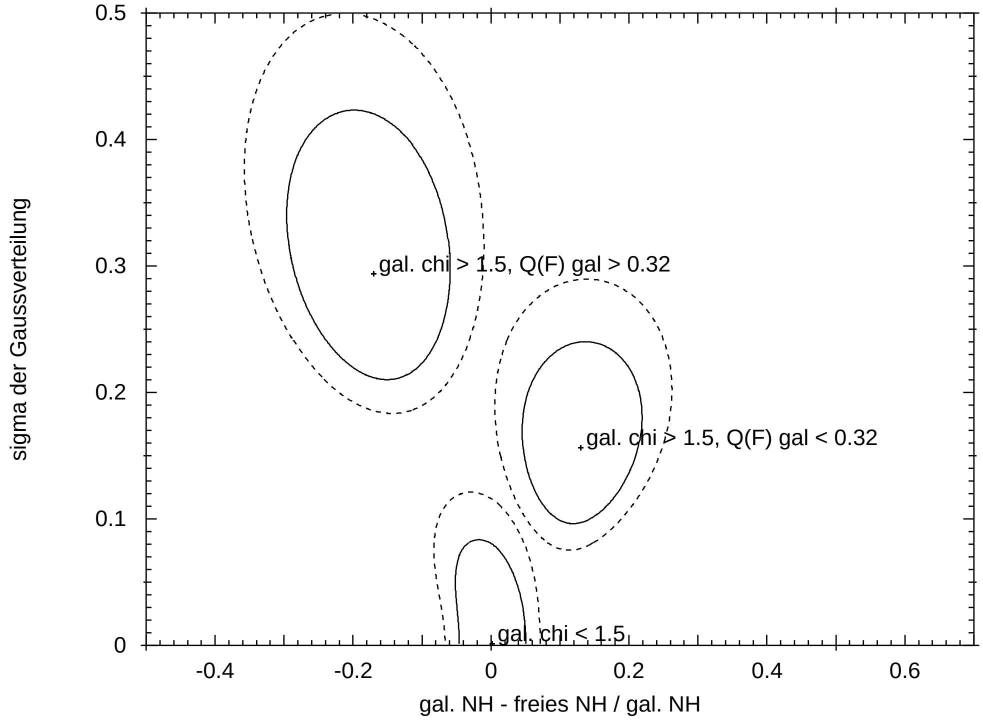


Abb. 3.8: *Die Quellen in den einzelnen Subsample unterscheiden sich danach, wie groß das χ^2_{red} für den Fit mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ ist und ob die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ besser mit den gemessenen Spektren übereinstimmen als die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ (siehe Kap. 3.4). Für die intrinsische Verteilung der relativen Differenzen zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ ergeben sich folgende Mittelwerte $\langle \Delta N_{\mathrm{H}} \rangle$: $-0.01^{+0.05}_{-0.05}$ (für die 27 Quellen mit $\chi^2_{red,gal} \leq 1.5$), $+0.13^{+0.09}_{-0.08}$ (für die 14 Quellen mit $Q(F)^{gal}_{dpl} \leq 0.32$ und $\chi^2_{red,gal} > 1.5$) und $-0.17^{+0.11}_{-0.12}$ (für die 27 Quellen mit $Q(F)^{gal}_{dpl} > 0.32$ und $\chi^2_{red,gal} > 1.5$). Die Konturlinien entsprechen den 1σ- und 1.6σ-Fehlern.*

Tabelle 3.9: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 14 Quellen mit $\chi^2_{red,gal} > 1.5$ und $Q(F)^{gal}_{dpl} < 0.32$.*

Objekt	IAU-Name	Klasse
ESO 198−G24	0236−524	Sy 1.0
NGC 3516	1103+728	Sy 1.5
NGC 3783	1136−374	Sy 1.0
3C 273	1226+023	Q
PG 1307+085	1307+085	Q
MCG−6−30−15	1333−340	Sy 1.0
NGC 5548	1415+253	Sy 1.5

Objekt	IAU-Name	Klasse
MARK 841	1501+106	Q
MARK 290	1534+580	Sy 1.0
1E 1615+061	1615+061	Sy 1.0
KUV 18217+6419	1821+643	Q
MARK 509	2041−109	Sy 1.0
NGC 7213	2206−474	Sy 1.0
MR 2251−178	2251−178	Q

Tabelle 3.11: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 14 Quellen mit* $\chi^2_{red,gal} > 1.5$, $Q(F)^{gal}_{dpl} > 0.32$ *und* $S^{N_{\rm H,gal}}_{N_{\rm H,frei}} \leq -1$.

Objekt	IAU-Name	Klasse
III ZW 2	0007+106	Sy 1.0
3C 120	0430+052	Sy 1.0
PKS 0518−45	0518−458	Sy 1.0
MARK 79	0738+499	Sy 1.2
NGC 3031	0951+693	Sy 1.0
NGC 3227	1020+201	Sy 1.5
NGC 4051	1200+448	Sy 1.0

Objekt	IAU-Name	Klasse
NGC 4151	1208+396	Sy 1.5
MARK 766	1215+300	Sy 1.5
MARK 205	1219+755	Sy 1.0
IC 4329A	1346−300	Sy 1.0
3C 390.3	1845+797	Sy 1.0
3C 454.3	2251+158	Q
NGC 7469	2300+086	Sy 1.0

Hälfte dieser Quellen sind entweder in den Residuen konvexe Knicke zu erkennen (siehe Tab. 6.8 im Anhang) oder der Binanteil unterhalb 0.5 keV macht weniger als 1/10 aus (siehe Tab. 6.4 im Anhang). Da die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\rm H,frei}$ solche Signaturen durch eine gegenüber $N_{\rm H,gal}$ erhöhte Wasserstoffsäulendichte auszugleichen suchen, sind bei 14 der 27 Quellen (siehe Tab. 3.11) die Werte für $N_{\rm H,frei}$ mit einer Signifikanz von mehr als 1σ größer als $N_{\rm H,gal}$ (siehe Spalte $S^{N_{\rm H,gal}}_{N_{\rm H,frei}}$ in Tab. 6.8 im Anhang). Bei einem weiteren Teil der Quellen sind in den Residuen zwar Signaturen zu erkennen, die Statistik der Meßdaten reicht jedoch nicht aus, um nähere Aussagen über ihre Ursache machen zu können. In den restlichen Fällen handelt es sich um Quellen, deren Residuen zwar augenscheinlich konkave Knicke aufweisen, bei denen die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz und $N_{\rm H,gal}$ aber dennoch nicht signifikant besser mit den gemessenen Spektren übereinstimmen als die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\rm H,gal}$.

Klassifikationsabhängige Unterschiede

Unterteilt nach Objektklassen zeigt sich, daß die Mittelwerte $\langle \Delta N_{\rm H} \rangle$ für die intrinsische Verteilung der relativen Differenzen zwischen $N_{\rm H,gal}$ und $N_{\rm H,gal}$ für alle Quellen innerhalb der Konturlinien für den 1.6σ-Fehler mit Null verträglich sind (siehe Abb. 3.9).

Stark absorbierte Spektren

Wie die vorangegangenen Betrachtungen zeigen, ist der Anteil der Quellen, die eine gegenüber $N_{\rm H,gal}$ stark erhöhte Absorption aufweisen nicht zu vernachlässigen. Bei fünf Quellen im Sample (0736+499, 0951+693, 1200+448, 1346−300 und 2300+086) ist $N_{\rm H,frei}$ mit einer Signifikanz von mindestens 3σ größer als $N_{\rm H,gal}$ (siehe Spalte $S^{N_{\rm H,gal}}_{N_{\rm H,frei}}$ in Tab. 6.7 im Anhang) und bei zehn Quellen (siehe Tab. 3.12 macht der Binanteil un-

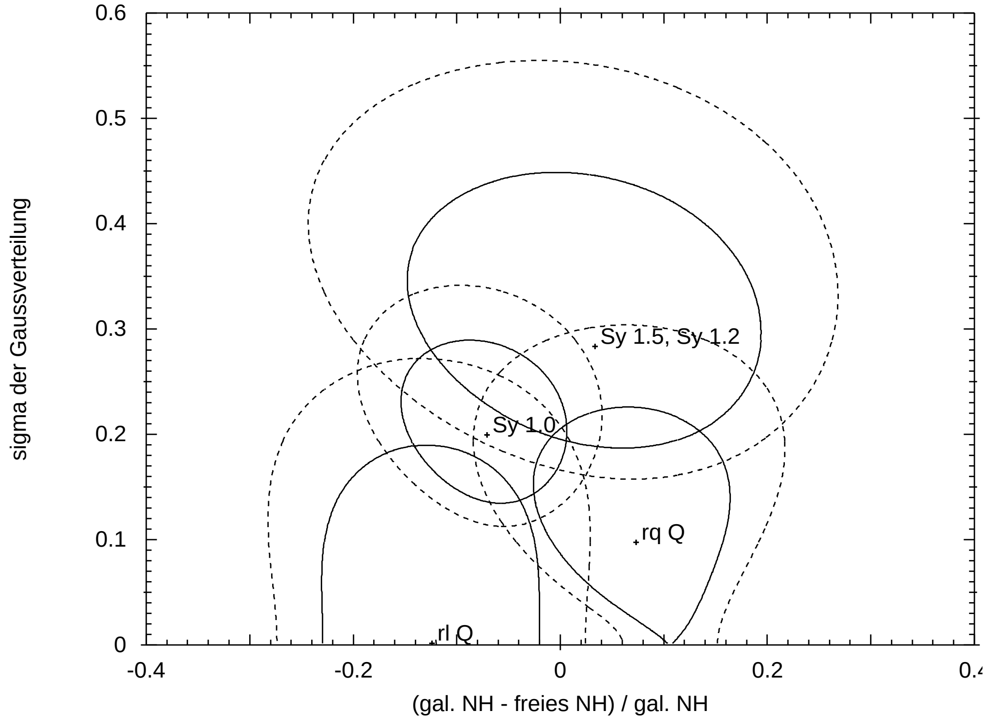


Abb. 3.9: *Für die intrinsische Verteilung der relativen Differenzen zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ ergeben sich, unterteilt nach Objektklassen, folgende Mittelwerte $\langle \Delta N_{\mathrm{H}} \rangle$: $+0.03^{+0.16}_{-0.18}$ (2 Sy 1.2 und 10 Sy 1.5), $-0.07^{+0.07}_{-0.08}$ (29 Sy 1.0), $-0.12^{+0.10}_{-0.10}$ (19 rl Q) und $+0.07^{+0.09}_{-0.10}$ (8 rq Q). Die Konturlinien entsprechen den 1σ- und 1.6σ-Fehlern.*

terhalb 0.5 keV weniger als 1/10 aus (siehe Tab. 6.4 im Anhang). Insgesamt sind es 14 Quellen, auf die zumindest eines der beiden Merkmale zutrifft und die daher als stark absorbiert angesehen werden können. Das ist knapp mehr als ein Fünftel des Sample.

Tabelle 3.12: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 10 Quellen mit einem Binanteil $< 1/10$ unterhalb 0.5 keV*

Objekt	IAU-Name	Klasse
III ZW 2	0007+106	Sy 1.0
3C 111.0	0415+379	Sy 1.0
3C 120	0430+052	Sy 1.0
NGC 3227	1020+201	Sy 1.5
IC 4329A	1346−300	Sy 1.0

Objekt	IAU-Name	Klasse
PG 1416−129	1416−129	Q
4C 73.18	1928+738	Q
NGC 6814	1939−104	Sy 1.0
PKS 2126−15	2126−158	Q
3C 454.3	2251+158	Q

Für 35 mit *EXOSAT*/LE+ME beobachtete Quellen kommen Turner & Pounds (1989) dagegen zu dem Schluß, daß die Hälfte davon deutliche Anzeichen für eine starke Absorption zeigen. Dieser Befund läßt sich allerdings nicht direkt mit dem in dieser Arbeit gefundenen vergleichen, da Turner & Pounds (1989) auch die Quellen als stark absorbiert ansehen, bei denen $N_{\mathrm{H,frei}}$ nur mit einer Signifikanz von 1.6σ größer ist als $N_{\mathrm{H,gal}}$. Für einen Vergleich empfiehlt es sich deshalb, erstens nur die 24 Quellen zu betrachten, die in beiden Sample enthalten sind und zweitens die Signifikanz der Differenz zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ in beiden Fällen anhand Gl. (3.6) zu bestimmen. Die Auswertung dieser Signifikanzen zeigt dann auch, daß rein statistisch kein nennenswerter Unterschied zwischen den beiden Sample besteht. Im Sample von Turner & Pounds ist $N_{\mathrm{H,frei}}$ bei vier Quellen mit einer Signifikanz von 3σ und bei fünf Quellen. mit einer Signifikanz von 1.6σ größer als $N_{\mathrm{H,gal}}$. In der vorliegenden Arbeit sind es jeweils drei und sieben Quellen (siehe dazu die Spalten $S_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$ und $S_{N_{\mathrm{H,T\&P}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$ in Tab. 3.13). Bei 3σ enstpricht das einem Anteil von weniger als einem Sechstel und bei 1.6σ einem Anteil von knapp einem Viertel des 24-Quellen-Sample.

3.3.3 Ergebnisse für die Spektralindizes

Für die Berechnung der intrinsischen Verteilung der Spektralindizes in den Energiebändern $0.1 - 2.4$ und $2 - 20$ keV wurde in Gl. (3.8) $x = \alpha_{a-b}$ und $\sigma = \sigma_{\alpha_{a-b}}$ gesetzt, wobei α_{a-b} der Spektralindex des einfachen Potenzgesetzes im Energieband a$-$b keV ist. Um die Mittelwerte $\langle \alpha_{a-b(n)} \rangle$ verschiedener Subsample unterscheiden zu können, ist in Klammern die Zahl n der Quellen angegeben, die bei der Berechnung berücksichtigt wurden.

Mittelwerte

Wie die Betrachtungen zum χ^2_{red} (siehe Kap. 3.3.1) und zur Differenz zwischen $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$ (siehe Kap. 3.3.2) zeigen, liefern die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz nur für einen Teil der 68 Quellen im Sample befriedigende Ergebnisse. Für die Berechnung der intrinsischen Verteilungen $f(\alpha_{a-b})$ wurden daher zunächst nur die 21 Quellen berücksichtigt, deren Spektren sich dadurch auszeichnen, daß die Fits gut passen und keine Anzeichen für eine starke Absorption vorliegen (siehe Tab. 3.14 und 3.15). Das sind all jene, bei denen erstens die χ^2_{red} der Fits mit beiden einfachen Potenzgsetzen ≤ 1.5 sind, zweitens $N_{\mathrm{H,frei}}$ nicht mit einer Signifkanz von mehr als 3σ größer ist als $N_{\mathrm{H,gal}}$ und drittens der Binanteil unterhalb 0.5 keV mehr als 1/10 ausmacht. Bei diesem Subsample ergibt sich für die intrinsische Verteilung der Spektralindizes im Energieband $2 - 20$ keV ein Mittelwert von $\langle \alpha_{2-20(21)} \rangle = 0.76^{+0.06}_{-0.06}$. Im Energieband $0.1 - 2.4$ keV liegen die Mittelwerte für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ bei $\langle \alpha_{0.1-2.4,gal(21)} \rangle = 1.21^{+0.10}_{-0.11}$ und für die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ bei $\langle \alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}(21)} \rangle = 1.30^{+0.10}_{-0.11}$ (siehe Abb. 3.10).

Tabelle 3.13: *Vergleich der $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $N_{\mathrm{H,frei}}$, die sich für die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz an die Daten von EXOSAT/LE+ME und ROSAT/PSPC ergeben. Die 1.6σ-Fehler für $N_{\mathrm{H,frei}}$ im Sample von Turner & Pounds (1989) wurden durch Division mit 1.6 näherungsweise in 1σ-Fehler umgerechnet. Die Signifikanzen wurden mittels Gl. (3.6) bestimmt.*

IAU-Name	$N_{\mathrm{H,gal}}$ [10^{20} cm^{-2}]	$N_{\mathrm{H,frei}}$ [10^{20} cm^{-2}]	$N_{\mathrm{H,T\&P}}$ [10^{20} cm^{-2}]	$\mathrm{S}_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$	$\mathrm{S}_{N_{\mathrm{H,T\&P}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$
0007+106	6.09 ± 0.19	$8.33^{+1.17}_{-1.02}$	$10.0^{+4.750}_{-1.313}$	−2.16	−1.85
0111−151	1.67 ± 0.06	$1.70^{+0.27}_{-0.23}$	$3.0^{+1.250}_{-1.250}$	−0.11	−0.66
0121−590	2.71 ± 0.63	$2.96^{+0.13}_{-0.14}$	$3.0^{+1.250}_{-0.625}$	−0.40	−0.25
0212−009	3.07 ± 0.09	$2.91^{+0.19}_{-0.18}$	$2.0^{+1.250}_{-0.625}$	0.75	0.53
0236−524	3.30 ± 0.63	$3.07^{+0.13}_{-0.13}$	$3.0^{+0.625}_{-0.625}$	0.35	0.25
0415+379	32.61 ± 1.02	$71.30^{+43.2}_{-33.5}$	$80.0^{+156.3}_{-31.25}$	−1.16	−0.95
0430+052	12.32 ± 0.39	$19.29^{+4.51}_{-3.64}$	$13.0^{+1.250}_{-0.625}$	−1.90	−0.63
0513−002	9.63 ± 0.63	$10.04^{+0.60}_{-0.55}$	$6.0^{+1.563}_{-0.438}$	−0.49	1.41
0738+499	5.89 ± 0.18	$7.67^{+0.57}_{-0.55}$	$5.0^{+1.250}_{-1.875}$	−3.06	0.44
1020+201	2.22 ± 0.63	$4.30^{+0.39}_{-0.38}$	$11.0^{+3.750}_{-3.750}$	−2.84	−1.46
1136−374	8.42 ± 0.63	$9.19^{+0.26}_{-0.34}$	$11.0^{+5.000}_{-1.250}$	−1.08	−1.23
1208+396	1.80 ± 0.63	$2.79^{+0.18}_{-0.20}$	$900.0^{+50.00}_{-50.00}$	−1.51	−11.2
1333−340	4.06 ± 0.13	$4.81^{+0.27}_{-0.28}$	$41.0^{+15.63}_{-19.38}$	−2.44	−1.19
1346−300	4.55 ± 0.14	$21.90^{+3.65}_{-3.39}$	$15.0^{+2.500}_{-1.875}$	−5.11	−3.48
1415+253	1.80 ± 0.63	$1.37^{+0.08}_{-0.11}$	$6.0^{+1.875}_{-1.875}$	0.69	−1.37
1534+580	2.32 ± 0.08	$2.03^{+0.42}_{-0.38}$	$1.0^{+1.875}_{-1.875}$	0.69	0.44
1916−587	5.88 ± 0.63	$5.40^{+0.33}_{-0.32}$	$1.2^{+1.250}_{-0.625}$	0.68	2.23
1939−104	9.80 ± 0.31	$10.54^{+7.29}_{-3.55}$	$29.0^{+23.75}_{-9.375}$	−0.21	−1.28
2041−109	4.87 ± 0.63	$4.05^{+0.24}_{-0.23}$	$3.0^{+0.625}_{-0.063}$	1.23	1.59
2206−474	3.05 ± 0.63	$1.64^{+0.10}_{-0.10}$	$1.5^{+0.313}_{-0.250}$	2.23	1.94
2221−023	5.12 ± 0.63	$1.18^{+2.73}_{-1.18}$	$740.0^{+150.0}_{-118.8}$	1.41	−3.87
2251−178	2.84 ± 0.09	$2.35^{+0.09}_{-0.11}$	$100.0^{+6.250}_{-6.250}$	3.83	−9.72
2300+086	4.82 ± 0.15	$5.75^{+0.19}_{-0.19}$	$2.0^{+0.625}_{-0.625}$	−3.81	2.79
2302−089	3.55 ± 0.63	$3.31^{+0.21}_{-0.21}$	$1.9^{+0.313}_{-0.250}$	0.37	2.06

Werden für die Berechnung der intrinsischen Verteilungen alle 58 Quellen berücksichtigt, deren Binanteil unterhalb 0.5 keV mehr als 1/10 ausmacht (siehe Tab. 3.2 und 3.16), ändern sich die Mittelwerte der Spektralindizes nur unwesentlich: $\langle\alpha_{2-20(58)}\rangle = 0.74^{+0.05}_{-0.05}$, $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}(58)}\rangle = 1.23^{+0.08}_{-0.08}$ und $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}(58)}\rangle = 1.27^{+0.06}_{-0.06}$ (siehe Abb. 3.11). Das ist anders, wenn auch die übrigen 10 Quellen, deren Binanteil unterhalb 0.5 keV weniger als 1/10 ausmacht (siehe Tab. 3.12), in die Berechnung der intrinsischen Verteilung eingehen. Zwar ergibt sich für die Spektralindizes im Energieband $2-20$ keV wieder ein Mittelwert von $\langle\alpha_{2-20(68)}\rangle = 0.73^{+0.06}_{-0.06}$, für das Energieband $0.1-2.4$ keV fallen die Mittelwerte der Spektralindizes nun aber signifikant kleiner aus:

Tabelle 3.14: *Unterteilung des 68-Quellen-Sample für die Berechnung der Mittelwerte der Spektralindizes.*

N	Binanteil	N	Kennzeichen
10	$< 1/10$	10	Der Binanteil unterhalb 0.5 keV macht weniger als 1/10 aus
58	$> 1/10$	21	Die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ und die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ stimmen gut mit dem Verlauf der gemessenen Spektren überein, und $N_{\mathrm{H,frei}}$ ist nicht signifikant größer als $N_{\mathrm{H,gal}}$
		37	Entweder stimmen die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ oder die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ nicht gut mit dem Verlauf der gemessenen Spektren überein, oder $N_{\mathrm{H,frei}}$ ist signifikant größer als $N_{\mathrm{H,gal}}$

Tabelle 3.15: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 21 Quellen mit* $\chi^2_{red,gal} \leq 1.5$, $\chi^2_{red,frei} \leq 1.5$, $S^{N_{\mathrm{H,gal}}}_{N_{\mathrm{H,frei}}} > -3$ *und einem Binanteil* $> 1/10$ *unterhalb 0.5 keV*

Objekt	IAU-Name	Klasse
S5 0014+81	0014+813	Q
PG 0026+12	0026+129	Q
MARK 352	0057+315	Sy 1.0
MARK 1152	0111−151	Sy 1.5
MARK 590	0212−009	Sy 1.2
NGC 1566	0418−550	Sy 1.0
AKN 120	0513−002	Sy 1.0
PKS 0637−75	0637−752	Q
PG 0804+761	0804+761	Q
3C 263	1137+660	Q
PKS 1159−036	1159−036	Q

Objekt	IAU-Name	Klasse
NGC 4593	1237−050	Sy 1.0
3C 279	1253−055	Q
3C 345.0	1641+399	Q
MARK 506	1720+309	Sy 1.5
B2 1721+34	1721+343	Q
ESO 141−G55	1916−587	Sy 1.0
II ZW 136	2130+099	Sy 1.0
PKS 2135−14	2135−147	Q
OX 169	2141+175	Q
B2 2201+31A	2201+315	Q

$\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}(68)}\rangle = 1.09^{+0.11}_{-0.10}$ und $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}(68)}\rangle = 1.20^{+0.06}_{-0.07}$ (siehe Abb 3.12). Das ist nicht überraschend, denn für sich betrachtet, liegen die Mittelwerte der Spektralindizes für die 10 zuletzt hinzugenommenen Quellen im Energieband $0.1 - 2.4$ keV bei $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}(10)}\rangle = 0.30^{+0.35}_{-0.35}$ und $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}(10)}\rangle = 0.80^{+0.23}_{-0.23}$ (siehe Abb. 3.13). Die niedrigen Mittelwerte kommen dadurch zustande, daß die Fits in diesen Fällen ihr χ^2_{red} über die Wahl kleiner, teilweise sogar negativer Spektralindizes optimieren. Das gilt insbesondere für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, die nicht wie die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ den Mangel an Bins unterhalb 0.5 keV durch höhere Werte für die Wasserstoffsäulendichte auffangen können (siehe Kap. 3.3.2). Da die Ergebnisse für diese Quellen ganz offensichtlich nicht glaubwürdig sind, wurden sie im weiteren nicht mehr berücksichtigt. Für den Vergleich der Spektralindizes und die eingehende spektrale Analyse der *ROSAT*/PSPC-Spektren

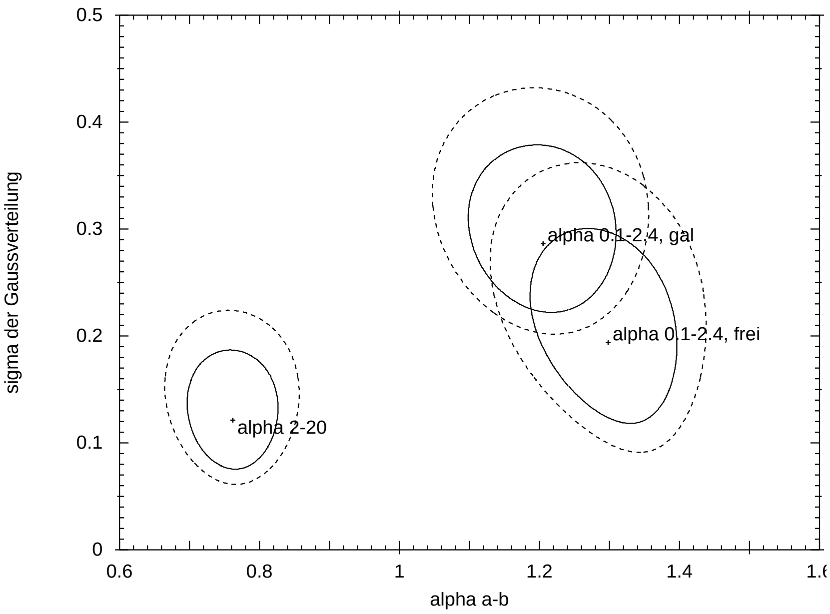


Abb. 3.10: *Für die intrinsische Verteilung $f(\alpha_{a-b})$ der 21 Quellen mit $\chi^2_{red,gal} \leq 1.5$, $\chi^2_{red,frei} \leq 1.5$, $S^{N_{\mathrm{H,gal}}}_{N_{\mathrm{H,frei}}} > -3$ und einem Binanteil $> 1/10$ unterhalb 0.5 keV ergeben sich die folgenden Mittelwerte: $\langle\alpha_{2-20}(21)\rangle = 0.76^{+0.06}_{-0.06}$, $\langle\alpha_{0.1-2.4,gal}(21)\rangle = 1.21^{+0.10}_{-0.11}$ und $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}(21)\rangle = 1.30^{+0.10}_{-0.11}$. Die Konturlinien entsprechen den 1σ- und 1.6σ-Fehlern.*

standen daher nur noch 58 (siehe Tab. 3.16) der ursprünglich 68 Quellen (siehe Tab. 3.1) zur Verfügung.

Vergleiche

Die Mittelwerte, die sich für das 58-Quellen-Sample in den Energiebändern $2-20$ keV und $0.1-2.4$ keV ergeben, stimmen im Rahmen der Fehler gut mit den mittleren Spektralindizes anderer Sample überein. Beim Vergleich ist allerdings zu berücksichtigen, daß sich die Sample in der Zusammensetzung stark unterscheiden. Die Mischung der Objektklassen ist sehr verschieden. Strenggenommen ist daher nur ein nach Objektklasssen getrennter Vergleich sinnvoll. Dabei zeigt sich, daß die Mittelwerte auch für einzelne Objektklassen in beiden Energiebändern gut mit den in der Literatur dazu verzeichneten Werten übereinstimmen (siehe Tab. 2.2 und 2.4). Wie erwartet lassen sich im Energieband $0.1-2.4$ keV für die radioleisen und radiolauten Quasare Abweichungen vom Mittelwert des 58-Quellen-Sample feststellen. Für die radiolauten Quasare sind die Mittelwerte der Spektralindizes sowohl bei den Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ als auch bei den Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ signifikant kleiner. Für die radioleisen Quasare ist Mittelwert zwar bei den Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ signifikant größer, nicht jedoch der Mittelwert bei den Fits mit

Tabelle 3.16: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 58 Quellen mit einem Binanteil* $> 1/10$ *unterhalb 0.5 keV*

Objekt	IAU-Name	Klasse
S5 0014+81	0014+813	Q
PG 0026+12	0026+129	Q
MARK 352	0057+315	Sy 1.0
MARK 1152	0111−151	Sy 1.5
FAIRALL 9	0121−590	Sy 1.0
3C 47	0133+207	Q
MARK 590	0212−009	Sy 1.2
NGC 985	0232−090	Sy 1.5
ESO 198−G24	0236−524	Sy 1.0
NRAO 140	0333+321	Q
NGC 1566	0418−550	Sy 1.0
AKN 120	0513−002	Sy 1.0
PKS 0518−45	0518−458	Sy 1.0
PKS 0637−75	0637−752	Q
MARK 79	0738+499	Sy 1.2
PG 0804+761	0804+761	Q
NGC 3031	0951+693	Sy 1.0
B2 1028+31	1028+313	Q
NGC 3516	1103+728	Sy 1.5
PG 1121+422	1121+423	Q
MARK 40	1122+546	Sy 1.0
NGC 3783	1136−374	Sy 1.0
3C 263	1137+660	Q
PKS 1159−036	1159−036	Q
NGC 4051	1200+448	Sy 1.0
NGC 4151	1208+396	Sy 1.5
MARK 766	1215+300	Sy 1.5
MARK 205	1219+755	Sy 1.0
3C 273	1226+023	Q

Objekt	IAU-Name	Klasse
NGC 4593	1237−050	Sy 1.0
3C 279	1253−055	Q
PG 1307+085	1307+085	Q
MCG−6−30−15	1333−340	Sy 1.0
MARK 279	1351+695	Sy 1.0
MARK 464	1353+388	Sy 1.5
NGC 5548	1415+253	Sy 1.5
MARK 1383	1426+015	Sy 1.0
MARK 841	1501+106	Q
PKS 1510−08	1510−089	Q
MARK 290	1534+580	Sy 1.0
1E 1615+061	1615+061	Sy 1.0
3C 345.0	1641+399	Q
MARK 506	1720+309	Sy 1.5
B2 1721+34	1721+343	Q
KUV 18217+6419	1821+643	Q
3C 390.3	1845+797	Sy 1.0
ESO 141−G55	1916−587	Sy 1.0
MARK 509	2041−109	Sy 1.0
II ZW 136	2130+099	Sy 1.0
PKS 2135−14	2135−147	Q
OX 169	2141+175	Q
B2 2201+31A	2201+315	Q
NGC 7213	2206−474	Sy 1.0
3C 445.0	2221−023	Sy 1.0
3C 446	2223−052	Q
MR 2251−178	2251−178	Q
NGC 7469	2300+086	Sy 1.0
MARK 926	2302−089	Sy 1.5

$N_{\mathrm{H,frei}}$. Das erklärt sich damit, daß fünf der sieben Quellen in den Residuen der Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ Anzeichen für einen Knick zeigen. Er führt dazu, daß bei den Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ eine niedrigere Wasserstoffsäulendichte als $N_{\mathrm{H,gal}}$ und damit auch ein kleinerer Spektralindex gewählt wird, um dem gegenüber dem Energieband $k - 2.4$ keV ansteigenden Photonenfluß unterhalb der Knickenergie k Rechnung zu tragen.

Die Differenz zwischen den Mittelwerten der beiden Spektralindizes im Energieband $0.1 - 2.4$ keV erklärt sich dadurch, daß beim Fit mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ die Parameter für die Wasserstoffsäulendichte und den Spektralindex nicht voneinander unabhängig sind. Ist $N_{\mathrm{H,frei}}$ größer als $N_{\mathrm{H,gal}}$, dann ist auch immer der Spektralindex beim Fit mit $N_{\mathrm{H,frei}}$

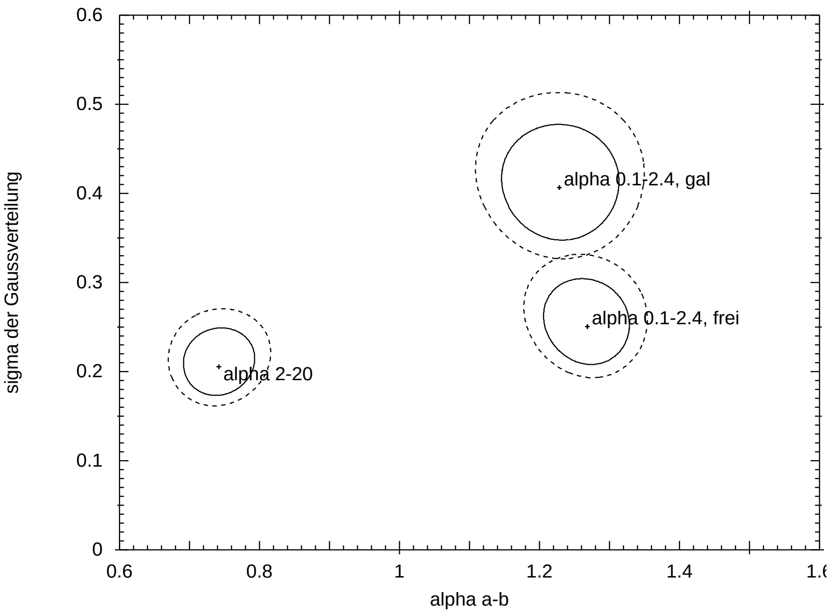


Abb. 3.11: *Für die intrinsische Verteilung $f(\alpha_{a-b})$ der 58 Quellen mit einem Binanteil $> 1/10$ unterhalb 0.5 keV ergeben sich die folgenden Mittelwerte:* $\langle\alpha_{2-20}(58)\rangle = 0.74^{+0.05}_{-0.05}$, $\langle\alpha_{0.1-2.4,gal}(58)\rangle = 1.23^{+0.08}_{-0.08}$ *und* $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}(58)\rangle = 1.27^{+0.06}_{-0.06}$. *Die Konturlinien entsprechen den 1σ- und 1.6σ-Fehlern.*

größer als beim Fit mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ (siehe Abb. 3.14 und Spalten $S^{N_{\mathrm{H,gal}}}_{N_{\mathrm{H,frei}}}$ und $S^{\alpha_{01.-2.4,gal}}_{\alpha_{0.1-2.4,frei}}$ in Tab. 6.7 im Anhang). Das gleiche ist der Fall, wenn der Wert für $N_{\mathrm{H,frei}}$ kleiner ist als $N_{\mathrm{H,gal}}$. Da für zwei Drittel der Quellen $N_{\mathrm{H,frei}}$ größer ist als $N_{\mathrm{H,gal}}$, ist es nicht erstaunlich, daß die Mittelwerte der Spektralindizes im Energieband $0.1 - 2.4$ keV bei den Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ etwas größer ausfallen als bei den Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$.

Der Vergleich der Mittelwerte spricht klar dafür, daß es sich beim *soft X-ray excess* um eine gängige Erscheinung im Röntgenspektrum von AGN handelt. Der Mittelwert der Spektralindizes ist im Energieband $0.1 - 2.4$ keV statistisch gesehen signifikant größer als im Energieband $2 - 20$ keV. Eine weitere Bestätigung für diesen Befund liefert auch die intrinsische Verteilung für die Differenzen der Spektralindizes in den beiden Energiebändern. Dazu wurde in Gl. (3.8)

$$x = \Delta\alpha = \alpha_{0.1-2.4} - \alpha_{2-20} \tag{3.12}$$

und das mittels Fehlerfortpflanzung berechnete

$$\sigma = \begin{cases} \sqrt{(-\sigma_{\alpha_{0.1-2.4}})^2 + (+\sigma_{\alpha_{2-20}})^2} & \text{falls } \alpha_{0.1-2.4} \geq \alpha_{2-20} \\ \sqrt{(+\sigma_{\alpha_{0.1-2.4}})^2 + (-\sigma_{\alpha_{2-20}})^2} & \text{sonst} \end{cases} \tag{3.13}$$

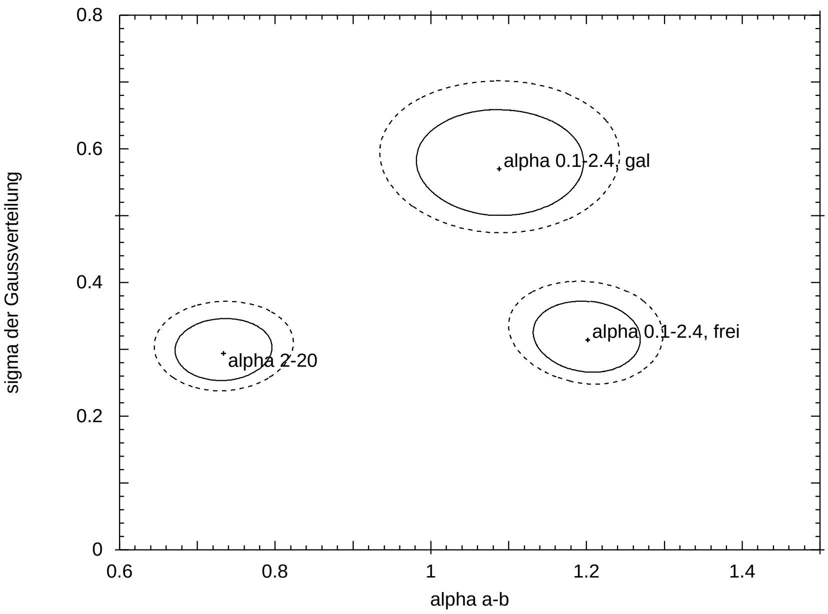


Abb. 3.12: *Für die intrinsische Verteilung $f(\alpha_{a-b})$ aller 68 Quellen im Sample ergeben sich die folgenden Mittelwerte: $\langle\alpha_{2-20}(68)\rangle = 0.73^{+0.06}_{-0.06}$, $\langle\alpha_{0.1-2.4,gal}(68)\rangle = 1.09^{+0.11}_{-0.10}$ und $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}(68)\rangle = 1.20^{+0.06}_{-0.07}$. Die Konturlinien entsprechen den 1σ- und 1.6σ-Fehlern.*

gesetzt, wobei $-\sigma_{\alpha_{0.1-2.4}}$ der untere 1σ-Fehler von $\alpha_{0.1-2.4}$ ist, $+\sigma_{\alpha_{0.1-2.4}}$ der obere 1σ-Fehler von $\alpha_{0.1-2.4}$, $-\sigma_{\alpha_{2-20}}$ der untere 1σ-Fehler von α_{2-20} und $+\sigma_{\alpha_{2-20}}$ der obere 1σ-Fehler von α_{2-20}.

Für das 58-Quellen-Sample liegen die Mittelwerte der Differenzen für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ bei $\langle\Delta\alpha, \mathrm{gal}(58)\rangle = 0.47^{+0.10}_{-0.10}$ und für die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ bei $\langle\Delta\alpha, \mathrm{frei}(58)\rangle = 0.51^{+0.07}_{-0.08}$. Unterteilt nach Objektklassen stimmen alle Ergebnisse im Rahmen der Fehler gut mit den Werten überein, die sich für das 58-Quellen-Sample ergeben (siehe Abb. 3.18 und 3.19). Im Gegensatz zu dem von Friedrich (1994) untersuchten Sample unterscheiden sich die Mittelwerte für die radioleisen und radiolauten Quasare in der vorliegenden Arbeit jedoch signifikant. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Laor *et al.* (1994) und Schartel *et al.* (1996).

Weder die intrinsischen Verteilungen $f(\alpha_{a-b})$ für die Spektralindizes der Energiebänder $0.1-2.4$ keV und $2-20$ keV noch die intrinsische Verteilungen $f(\Delta\alpha)$ für die Differenzen zwischen den Spektralindizes der Energiebänder $0.1-2.4$ keV und $2-20$ keV erlauben eine Aussagen darüber, wie groß der Anteil der Quellen ist, deren Spektralindex im Energieband $0.1-2.4$ keV größer ist als im Energieband $2-20$ keV. Um das zu beurteilen, ist es nötig, mittels Gl. (3.6) die Signifikanzen zu berechnen, mit denen sich

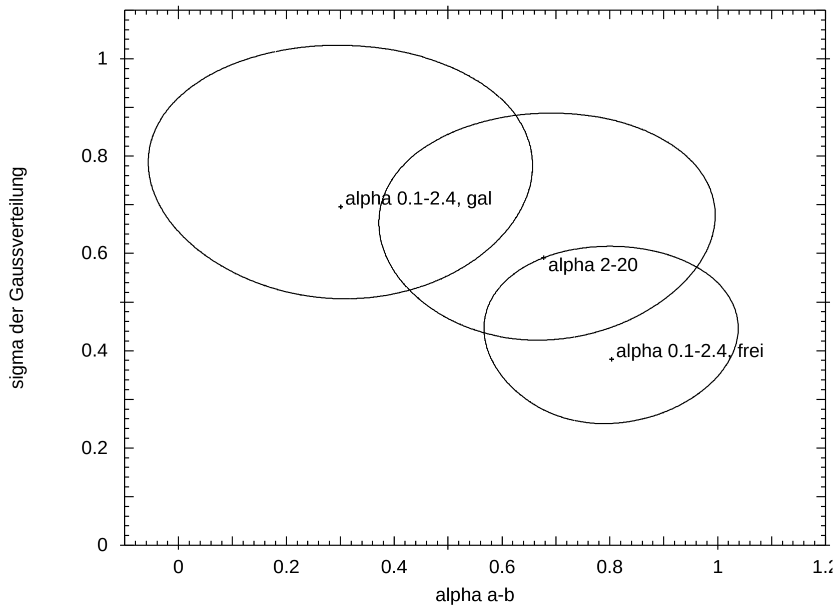


Abb. 3.13: *Für die intrinsische Verteilung $f(\alpha_{a-b})$ der 10 Quellen mit einem Binanteil $<1/10$ unterhalb 0.5 keV ergeben sich die folgenden Mittelwerte: $\langle\alpha_{2-20}(10)\rangle = 0.68^{+0.31}_{-0.30}$, $\langle\alpha_{0.1-2.4,gal}(10)\rangle = 0.30^{+0.35}_{-0.35}$ und $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}(10)\rangle = 0.80^{+0.23}_{-0.23}$. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur die Konturlinien der 1σ-Fehler eingezeichnet.*

zwei Spektralindizes unterscheiden (siehe Spalten $S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$ und $S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{frei}}$ in Tab. 6.7 im Anhang).

Tabelle 3.17: *Objektbezeichnung, IAU-Name und Klassifikation der 21 Quellen mit $S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{gal}} \geq 3$ und $S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{frei}} \geq 3$.*

Objekt	IAU-Name	Klasse
MARK 1152	0111−151	Sy 1.5
FAIRALL 9	0121−590	Sy 1.0
ESO 198−G24	0236−524	Sy 1.0
NGC 1566	0418−550	Sy 1.0
AKN 120	0513−002	Sy 1.0
MARK 79	0738+499	Sy 1.2
NGC 3783	1136−374	Sy 1.0
NGC 4051	1200+448	Sy 1.0
NGC 4151	1208+396	Sy 1.5
MARK 766	1215+300	Sy 1.5
3C 273	1226+023	Q

Objekt	IAU-Name	Klasse
MCG−6−30−15	1333−340	Sy 1.0
MARK 279	1351+695	Sy 1.0
NGC 5548	1415+253	Sy 1.5
MARK 841	1501+106	Q
ESO 141−G55	1916−587	Sy 1.0
MARK 509	2041−109	Sy 1.0
II ZW 136	2130+099	Sy 1.0
PKS 2135−14	2135−147	Q
MR 2251−178	2251−178	Q
MARK 926	2302−089	Sy 1.5

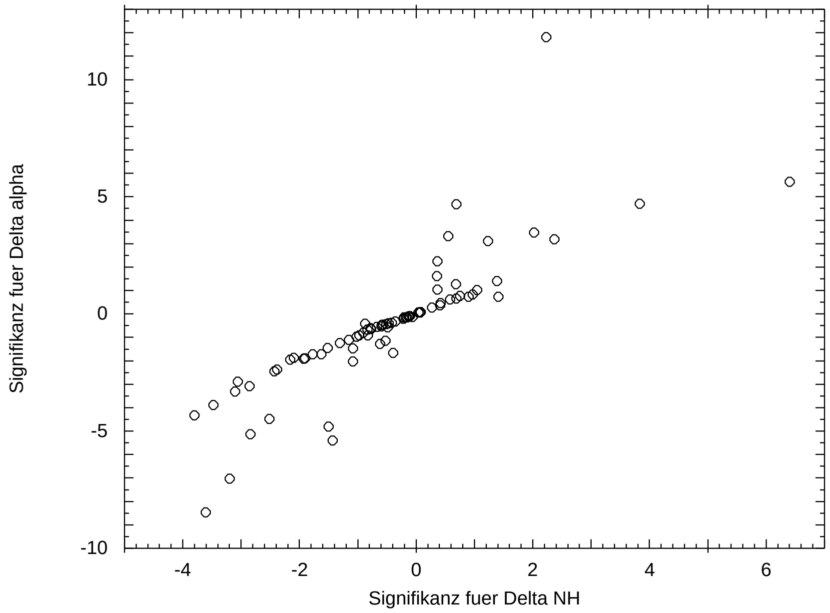


Abb. 3.14: *Darstellung der Signifikanzen* $S_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$ *gegenüber den Signifikanzen* $S_{\alpha_{0.1-2.4,frei}}^{\alpha_{01.-2.4,gal}}$*. Es wird deutlich, daß die Parameter für die Wasserstoffsäulendichte und den Spektralindex beim Fit mit* $N_{\mathrm{H,frei}}$ *nicht voneinander unabhängig sind.*

Bei 21 der 58 Quellen (siehe Tab 3.17), also etwas mehr als einem Drittel, sind die Spektralindizes sowohl für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ als auch für die für die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ mit einer Signifikanz von mehr als 3σ größer als die dazugehörigen Spektralindizes im Energieband $2-20$ keV. Dies entspricht in etwa dem Anteil, den auch Turner & Pounds (1989) und Comastri *et al.* (1992) für ihre Sample mit Messungen von *EXOSAT*/LE+ME ermittelt haben (siehe Kap. 2.3).

3.4 Doppeltes Potenzgesetz

Die Mittelwerte und Differenzen der Spektralindizes vermitteln zwar eine Vorstellung davon, wie gängig die Erscheinung des *soft X-ray excess* ist, im Einzelfall ist der Schluß, daß ein *soft X-ray excess* vorliegt strenggenommen aber nur dann zulässig, wenn die Spektralindizes in den beiden Energiebändern $0.1-2.4$ keV und $2-20$ keV anhand zeitgleicher Messungen ermittelt wurden. Die Messungen mit *ROSAT*, *Ginga*, *EXOSAT* und *HEAO-2* liegen jedoch mehrere Jahre auseinander (siehe Tab. 6.1 und 6.4 im Anhang). Es ist daher nicht auszuschließen, daß der Verlauf der Spektren zwischenzeitlich nicht flacher oder steiler geworden ist. Aus diesem Grund lassen sich mit dem vorliegenden Datenmaterial wirklich verbindliche Aussagen nur dann treffen, wenn das

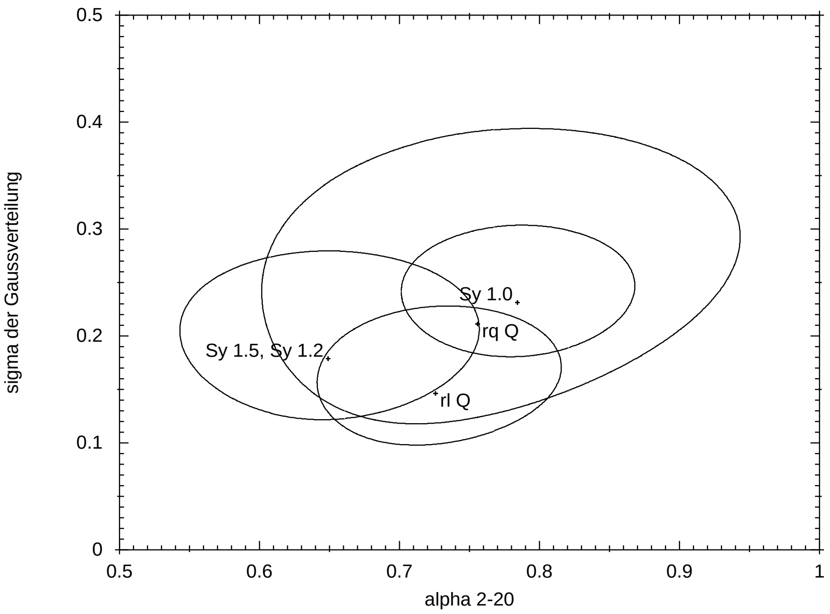


Abb. 3.15: *Für die intrinsische Verteilung* $f(\alpha_{2-20})$ *ergeben sich, unterteilt nach Objektklassen, folgende Mittelwerte* $\langle\alpha_{2-20}\rangle$*:* $0.65^{+0.11}_{-0.10}$ *(2 Sy*1.2 *und 9 Sy*1.5*),* $0.79^{+0.08}_{-0.08}$ *(24 Sy*1.0*),* $0.73^{+0.09}_{-0.08}$ *(16 rl Q) und* $0.75^{+0.19}_{-0.15}$ *(7 rq Q). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur die Konturlinien der* 1σ*-Fehler eingezeichnet.*

den *soft X-ray excess* kennzeichnende Aufsteilen des spektralen Verlaufs innerhalb des Energiebandes 0.1 − 2.4 keV direkt zu beobachten ist. Das ist bei den Quellen sicher der Fall, deren gemessene Spektren besser mit dem Fit eines doppelten Potenzgesetzes übereinstimmen als mit dem Fit eines einfachen Potenzgesetzes. Ihre Spektren zeichnen sich dadurch aus, daß die Residuen der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz zwischen 0.5 und 1.0 keV deutliche Anzeichen für einen Knick aufweisen (siehe Abb. 6.8 im Anhang).

Fitergebnisse

Für die Fits mit einem doppelten Potenzgesetzes wurde

$$dN(E)/dE\,dA\,dt = [I_s\,(E/E_s)^{-\alpha_s-1} + I_h\,(E/E_h)^{-\alpha_h-1}]\cdot exp[-\sigma(E)\,N_{\mathrm{H,gal}}] \qquad (3.14)$$

verwendet, wobei $dN(E)/dE\,dA\,dt$ ($[dN(E)/dE\,dA\,dt]$ = Photonen/cm^2 s keV) der auf der Erde gemessene Photonenfluß bei der Energie E ist, $\mathrm{I_s}$ ($[\mathrm{I_s}]$ = Photonen/cm^2 s keV) der Photonenfluß der weichen Kompoenente bei der Referenzenergie $\mathrm{E_s}$ ($[\mathrm{E_s}]$ = keV), α_s der Spektralindex der weichen Komponente, $\mathrm{I_h}$ ($[\mathrm{I_h}]$ = Photonen/cm^2 s keV) der Photonenfluß der harten Komponente bei der Referenzenergie $\mathrm{E_h}$ ($[\mathrm{E_h}]$ = keV) und α_h der

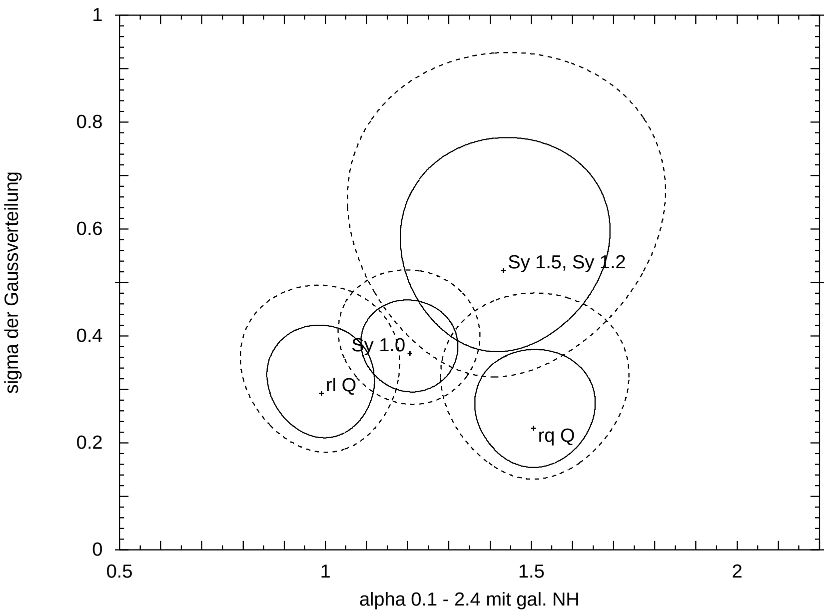


Abb. 3.16: *Für die intrinsische Verteilung $f(\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}})$ ergeben sich, unterteilt nach Objektklassen, folgende Mittelwerte $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}}\rangle$: $1.43^{+0.25}_{-0.25}$ (2 Sy 1.2 und 9 Sy 1.5), $1.21^{+0.11}_{-0.12}$ (24 Sy 1.0), $0.99^{+0.12}_{-0.13}$ (16 rl Q) und $1.51^{+0.14}_{-0.14}$ (7 rq Q). Die Konturlinien entsprechen den 1σ- und 1.6σ-Fehlern.*

Spektralindex der harten Komponente, $\sigma(E)$ ($[\sigma(E)] = \mathrm{cm}^2$) der nach Morrison & McCammon (1983) berechnete Wirkungsquerschnitt für die Absorption bei der Energie E ([E] = keV) im interstellaren Gas, $N_{\mathrm{H,gal}}$ ($[N_{\mathrm{H,gal}}] = 1/\mathrm{cm}^2$) die Säulendichte des aus Radiobeoachtungen bei 21 cm ermittelten neutralen atomaren Wasserstoffs in der Galaxis (Elvis *et al.* 1986, Elvis *et al.* 1989, Stark *et al.* 1992, siehe auch Abb. 3.2 und Tab. 6.5 im Anhang).

Der Rückgriff auf $N_{\mathrm{H,gal}}$ (siehe Tab. 6.6 im Anhang) war unumgänglich, weil die Fits mit einem doppeltem Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,frei}}$ aufgrund der vielen Freiheitsgrade keine sinnvollen Ergebnisse lieferten. Um vertrauenwürdige 1σ-Fehler berechnen zu können, wurden zudem nur Quellen mit mehr als zehn Bins berücksichtigt. Die Ergebnisse der Fits sind in Tab. 3.18 aufgelistet

Vergleiche

Ob die Fits signifkant besser mit den gemessenen Spektren übereinstimmen, wenn statt eines einfachen ein doppeltes Potenzgesetz verwendet wird, wurde mit Hilfe des F-Tests (Bevington & Robinson 1992) überprüft. Auf diesem Weg ist es möglich, für zwei Modelle mit den Freiheitsgraden $N_1 < N_2$, deren Fits die Chiquadrate χ_1^2 und χ_2^2 liefern, über den Quotienten

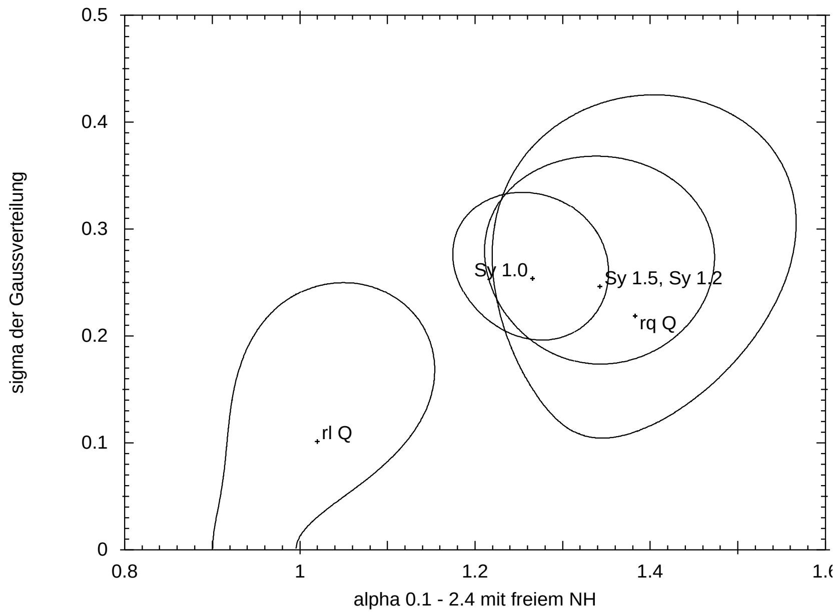


Abb. 3.17: *Für die intrinsische Verteilung $f(\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}})$ ergeben sich, unterteilt nach Objektklassen, folgende Mittelwerte $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}\rangle$: $1.34^{+0.13}_{-0.13}$ (2 Sy1.2 und 9 Sy1.5), $1.27^{+0.08}_{-0.09}$ (24 Sy1.0), $1.02^{+0.13}_{-0.12}$ (16 rl Q) und $1.38^{+0.18}_{-0.16}$ (7 rq Q). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur die Konturlinien der 1σ-Fehler eingezeichnet.*

$$f = \frac{(\chi_1^2 - \chi_2^2)/(N_1 - N_2)}{\chi_2^2/N_2} \tag{3.15}$$

und das Integral

$$Q(F)_2^1 = \int_{f_0}^{\infty} Q(f, N_1, N_2)df \tag{3.16}$$

der Verteilung

$$Q(f, N_1, N_2) \equiv \frac{\Gamma((N_1 + N_2)/2)}{\Gamma(N_1/2)\Gamma(N_2/2)} \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^{N_1/2} \frac{f^{(N_1-1)/2}}{(1 + fN_1N_2)^{(N_1+N2)/2}} \tag{3.17}$$

die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, daß für einen Wert f_0 der Fit des zweiten Modells nur zufällig besser ist als der Fit des ersten Modells.

Eine zufällige Verbesserung der Fits beim Übergang vom einfachen zum doppelten Potenzgesetz kann mit einer Signifikanz von mehr als 1σ ausgeschlossen werden, wenn sowohl $Q(F)_{dpl}^{gal}$ als auch $Q(F)_{dpl}^{frei} \leq 0.32$ sind. Das ist bei elf Quellen der Fall (siehe Tab. 3.19, 3.7 und 3.20). Sie sind als sichere Kandidaten für AGN mit einem *soft X-ray excess* anzusehen.

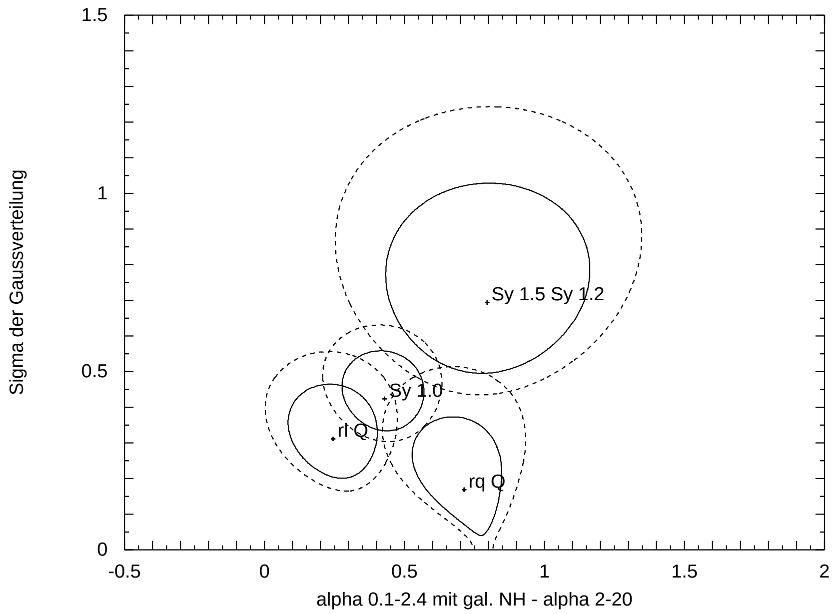


Abb. 3.18: *Für die intrinsische Verteilung* $f(\Delta\alpha, \mathrm{gal})$ *ergeben sich, unterteilt nach Objektklassen, folgende Mittelwerte* $\langle\Delta\alpha, \mathrm{gal}\rangle$*:* $0.80^{+0.35}_{-0.35}$ *(2 Sy* 1.2 *und 9 Sy* 1.5*),* $0.43^{+0.13}_{-0.15}$ *(24 Sy* 1.0*),* $0.25^{+0.15}_{-0.15}$ *(16 rl Q) und* $0.71^{+0.13}_{-0.18}$ *(7 rq Q). Die Konturlinien entsprechen den* 1σ*- und* 1.6σ*-Fehlern.*

Bei neun der elf Quellen dominieren entweder die zusätzliche Emissionskomponente oder der warme Absorber als Ursache für den *soft X-ray excess*:

In vier Fällen ($0236-524$, $1226+023$, $1501+106$ und $2206-474$) unterscheidet sich der Spektralindex α_h für die harte Komponente des doppelten Potenzgesetzes nicht signifikant vom Spektralindex für das Energieband $2-20$ keV. Der Spektralindex α_s für die weiche Komponente des doppelten Potenzgesetzes ist dagegen mit einer Signifikanz von mindestens 3σ größer als der Spektralindex im Energieband $2-20$ keV. Das legt den Schluß nahe, daß es sich bei der harten Komponente des doppelten Potenzgesetzes um die Fortsetzung des einfachen Potenzgesetzes im Energieband $2-20$ keV und bei der weichen Komponente des doppelten Potenzgesetzes um die den *soft X-ray excess* verursachende zusätzliche Emissionkomponente handelt. Eine unabhängige Bestätigung für diesen Befund durch andere Untersuchungen ist bislang nur für 3C 273 ($1226+023$) verfügbar. Der Quasar wurde zeitgleich mit *ROSAT*/PSPC und *Ginga*/LAC beobachtet. Die Auswertung des kombinierten Spektrums legt ebenfalls den Schluß nahe, daß eine zusätzlichen Emissionskomponente Ursache des *soft X-ray excess* ist (Staubert 1992, Staubert *et al.* 1992, Pflüger 1996).

In fünf Fällen ($1103+728$, $1136-374$, $1333-340$, $1415+253$ und $2251-178$) ist

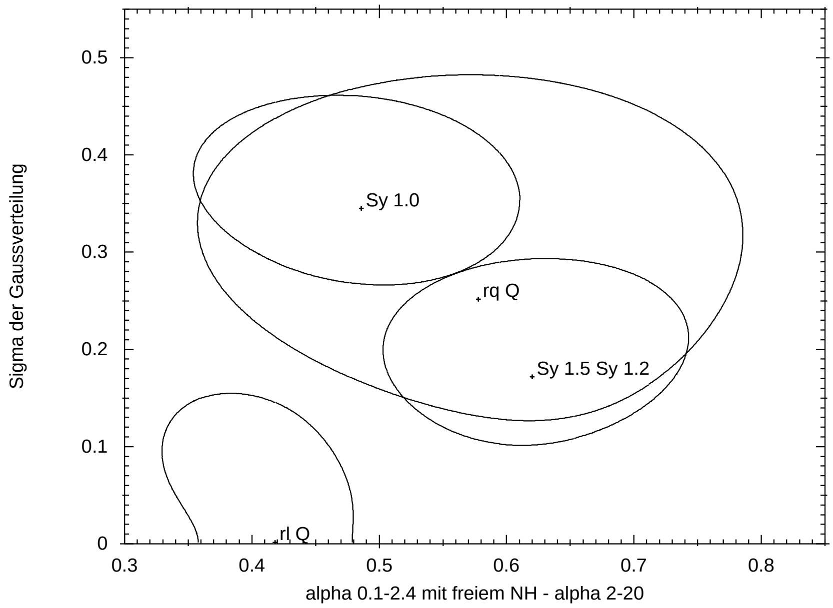


Abb. 3.19: *Für die intrinsische Verteilung $f(\Delta\alpha, \mathrm{frei})$ ergeben sich, unterteilt nach Objektklassen, folgende Mittelwerte $\langle\Delta\alpha, \mathrm{frei}\rangle$: $0.62^{+0.12}_{-0.11}$ (2 Sy 1.2 und 9 Sy 1.5), $0.49^{+0.12}_{-0.13}$ (24 Sy 1.0), $0.42^{+0.06}_{-0.09}$ (16 rl Q) und $0.58^{+0.21}_{-0.22}$ (7 rq Q). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur die Konturlinien der 1σ-Fehler eingezeichnet.*

der Spektralindex α_h für die harte Komponente des doppelten Potenzgesetzes mit einer Signifikanz von knapp 3σ und mehr kleiner als der Spektralindex im Energieband $2-20$ keV. Zugleich ist bei diesen Quellen der Spektralindex α_s für die weiche Komponente des doppelten Potenzgesetzes in vier Fällen mit einer Signifikanz von mehr als 3σ und in einem Fall mit einer Signifikanz von mehr als 2σ größer als der Spektralindex im Energieband $2-20$ keV. Das legt den Schluß nahe, daß es sich bei der harten Komponente des doppelten Potenzgesetzes um den blauen Flügel und bei der weichen Komponente des doppelten Potenzgesetzes um den roten Flügel der vom warmen Absorber verursachten Sauerstoffabsorptionskante handelt. Dieser Befund deckt sich gut mit anderen Untersuchungen dieser Quellen (siehe Tab. 2.5).

Tabelle 3.18: *Ergebnisse der Fits mit einem doppelten Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,gal}}$ für die 17 Quellen, bei denen entweder $Q(F)^{gal}_{dpl}$ oder $Q(F)^{gal}_{dpl} \leq 0.32$ ist.*

IAU-Name	α_s	α_h	$\chi^2_{red,dpl}$	dof
0232−090	$1.59^{+0.06}_{-0.05}$	$-3.88^{+2.81}_{-5.39}$	7.54	14
0236−524	$1.40^{+0.10}_{-0.03}$	$-3.23^{+3.43}_{-4.27}$	1.27	18
1103+728	$1.37^{+0.03}_{-0.02}$	$-3.08^{+0.67}_{-0.80}$	10.26	29
1121+423	$2.10^{+0.44}_{-0.12}$	$-4.02^{+5.08}_{-4.72}$	2.44	12
1136−374	$1.72^{+0.03}_{-0.04}$	$-4.90^{+0.44}_{-0.53}$	62.55	23
1226+023	$1.14^{+0.68}_{-0.11}$	$-0.37^{+1.08}_{-2.71}$	2.06	17
1307+085	$1.67^{+0.10}_{-0.07}$	$-5.62^{+4.92}_{-3.83}$	1.83	14
1322−427	$1.44^{+0.15}_{-0.15}$	$-9.72^{+2.44}_{-0.65}$	2.57	16
1333−340	$1.06^{+0.04}_{-0.04}$	$-5.51^{+1.82}_{-2.01}$	15.89	20
1415+253	$1.28^{+0.07}_{-0.05}$	$-2.01^{+0.84}_{-0.99}$	1.59	28
1501+106	$1.44^{+0.05}_{-0.03}$	$-3.25^{+2.73}_{-4.57}$	1.68	23
1534+580	$1.35^{+0.60}_{-0.09}$	$-2.44^{+3.25}_{-5.69}$	1.44	17
1615+061	$1.79^{+4.76}_{-0.21}$	$-0.66^{+1.90}_{-3.82}$	2.40	11
1821+643	$7.03^{+0.11}_{-1.60}$	$1.09^{+0.16}_{-0.18}$	2.09	19
2041−109	$2.56^{+5.11}_{-0.79}$	$1.21^{+0.35}_{-2.64}$	1.44	18
2206−474	$5.98^{+0.89}_{-0.75}$	$1.05^{+0.06}_{-0.06}$	1.82	23
2251−178	$1.43^{+0.06}_{-0.04}$	$-1.70^{+0.96}_{-1.16}$	3.39	27

Tabelle 3.19: *Unterteilung des 58-Quellen-Sample nach Quellen mit und ohne soft X-ray excess.*

N	$Q(F)^{gal}_{dpl}, Q(F)^{frei}_{dpl}$	N	S^s_{2-20}	S^h_{2-20}	Kennzeichen
11	< 0.32	4	> 3	$[-3\ldots3]$	AGN mit soft X-ray excess: als Ursache dominiert die zusätzliche Emissions-komponente
		5	> 3	< -3	AGN mit soft X-ray excess: als Ursache dominiert der warme Absorber
		2	< 3	> -3	AGN mit soft X-ray excess: die Ursache läßt sich nicht näher eingrenzen
47	> 0.32	47			Ein soft X-ray excess ist in den ROSAT/PSPC-Spektren nicht zweifelsfrei nachweisbar

Tabelle 3.20: *Ergebnisse der F-Tests und der Vergleiche von $\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$, $\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}$, und α_{2-20} für die 17 Quellen, bei denen entweder $Q(F)^{gal}_{dpl}$ oder $Q(F)^{gal}_{dpl} \leq 0.32$ ist. Für $Q(F) < 0.003$ kann eine zufällige Verbesserung mit einer Signifikanz von mehr als 3σ, für $Q(F) < 0.046$ mit einer Signifikanz von mehr als 2σ und für $Q(F) < 0.32$ mit einer Signifikanz von mehr als 1σ ausgeschlossen werden.*

IAU-Name	$Q(F)^{gal}_{dpl}$	$Q(F)^{frei}_{dpl}$	S^s_{2-20}	S^h_{2-20}
0232−090	$3.9 \cdot 10^{-1}$	$3.1 \cdot 10^{-1}$	0.59	−1.65
0236−524	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$	7.58	−1.18
1103+728	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$7.5 \cdot 10^{-6}$	2.96	−5.48
1121+423	$3.9 \cdot 10^{-1}$	$9.6 \cdot 10^{-2}$	2.72	−0.92
1136−374	$6.1 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	28.27	−10.95
1226+023	$9.9 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$	6.14	−0.78
1307+085	$6.4 \cdot 10^{-2}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$	1.10	−1.40
1322−427	$3.7 \cdot 10^{-4}$	1.0	4.72	−4.28
1333−340	$2.6 \cdot 10^{-1}$	$2.9 \cdot 10^{-1}$	4.62	−3.50
1415+253	$4.8 \cdot 10^{-12}$	$4.6 \cdot 10^{-11}$	14.40	−3.02
1501+106	$2.1 \cdot 10^{-3}$	$6.8 \cdot 10^{-4}$	12.10	−1.34
1534+580	$5.2 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-2}$	2.95	−0.98
1615+061	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$6.0 \cdot 10^{-1}$	3.26	−0.65
1821+643	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$8.7 \cdot 10^{-1}$	3.86	1.39
2041−109	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$6.1 \cdot 10^{-1}$	2.24	0.16
2206−474	$1.3 \cdot 10^{-13}$	$3.1 \cdot 10^{-1}$	6.75	1.68
2251−178	$1.0 \cdot 10^{-6}$	$3.9 \cdot 10^{-5}$	18.95	−2.33

4 Diskussion und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, der Frage nachzugehen, inwieweit die *ROSAT*/PSPC-Spektren von Quasaren und Seyfert-1-Galaxien Aussagen über Häufigkeit und Ursache des *soft X-ray excess* erlauben. Um eine Antwort zu finden, wurden 68 Quellen ausgewählt, von denen erstens im *ROSAT*-Datenarchiv pointierte PSPC-Beobachtungen öffentlich zugänglich sind und für die zweitens im Katalog von Malaguti *et al.* (1994) mit *HEAO2*/MPC, *EXOSAT*/ME oder *Ginga*/LAC bestimmte Spektralindizes für das Energieband $2-20$ keV verzeichnet sind. Diese Zusammenstellung hat den Vorteil, daß damit für alle Quellen sowohl ein Vergleich der Spektralindizes in den Energiebändern $0.1-2.4$ keV und $2-20$ keV als auch eine spektrale Analyse der *ROSAT*/PSPC-Beobachtungen möglich ist. Ähnlich geschlossene Sample wurden bislang nur von Turner & Pounds (1989) und Comastri *et al.* (1992) untersucht. In beiden Fällen stammen die Daten jedoch von Messungen mit *EXOSAT*/LE+ME.

Interstellare Absorption

Die Spektralindizes im Energieband $0.1-2.4$ keV sind alle das Ergebnis eigener Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und interstellarer Absorption an *ROSAT*/PSPC-Spektren. Dabei wurde die interstellare Absorption einmal auf dem Wert für die Säulendichte des neutralen Wasserstoffs in der Galaxis festgehalten ($N_{\rm H,gal}$) und einmal frei wählbar gelassen ($N_{\rm H,frei}$). Beide Fits sind angebracht, weil sowohl $N_{\rm H,gal}$ als auch $N_{\rm H,frei}$ nur mit großen Unsicherheiten angegeben werden können:

Bei $N_{\rm H,gal}$ hat das mehrere Ursachen. Die Werte werden von Radiomessungen des neutralen Wasserstoffs in der Galaxis bei einer Wellenlänge von 21 cm abgeleitet. Für einzelne Quellen wurde solche Messungen nur in wenigen Ausnahmen durchgeführt. In den meisten Fällen sind für $N_{\rm H,gal}$ nur interpolierte Werte verfügbar, die auf den Angaben einer Radiodurchmusterung mit einer Winkelauflösung von 2° FWHM (Stark *et al.* 1992) beruhen. Unabhängig davon, ob der Wert mittels einer Einzelmessung ermittelt oder durch Interpolation aus der Radiodurchmusterung abgeleitet wurde, liegt den Berechnungen von $N_{\mathrm{H,gal}}$ die Annahme zugrunde, daß die Elementhäufigkeiten auf der Sichtlinie zur Quelle jenen der galaktischen interstellaren Materie entsprechen. Für Helium, das im weichen Röntgenbereich mehr noch als Wasserstoff zur Absorption beiträgt, liegt die Unsicherheit der relativen Häufigkeit jedoch bei etwa 10% (Morrison & McCammon 1983).

Bei $N_{\mathrm{H,frei}}$ hängt die Unsicherheit der Werte dagegen mit der Energiebandbreite der *ROSAT*/PSPC-Spektren zusammen. Sie reicht nicht aus, um den Verlauf des einfachen Potenzgesetzes im Energieband $2-20$ keV genau festzulegen. Das wäre jedoch erforderlich, um $N_{\mathrm{H,frei}}$ durch den Fit eines einfachen Potenzgesetzes mit frei wählbarer interstellarer Absorption bestimmen zu können.

Vergleich der Spektralindizes

Wie die Auswertung der Fitqualität zeigt, können für den Vergleich der Spektralindizes nur 58 der ursprünglich 68 Quellen berücksichtigt werden. Bei zehn Quellen macht der Binanteil unterhalb 0.5 keV weniger als 1/10 aus. In diesen Fällen führt die erhöhte Absorption in den Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ zu kleinen, teilweise sogar zu negativen Spektralindizes. Für diese Quellen liefern auch die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ nur formal bessere Ergebnisse. Wasserstoffsäulendichte und Spektralindex werden zwar durchweg angehoben, sind aber dennoch nicht glaubwürdig. Die Werte für $N_{\mathrm{H,frei}}$ sind mit großen Fehlern behaftet und die Spektralindizes sind weiterhin zu klein oder negativ.

Die nach Maccacaro *et al.* (1988) berechneten Mittelwerte der Spektralindizes stimmen im Rahmen der Fehler sowohl für das 58-Quellen-Sample als auch für einzelne Objektklassen gut mit den in der Literatur für die Energiebänder $2-20$ keV und $0.1-2.4$ keV verzeichneten Werten überein. Wie erwartet, lassen sich im Energieband $0.1-2.4$ keV für die radioleisen und radiolauten Quasare Abweichungen vom Mittelwert des 58-Quellen-Sample feststellen. Für die radiolauten Quasare sind die Mittelwerte kleiner und für die radioleisen Quasare größer als der Mittelwert des 58-Quellen-Sample. Die Mittelwerte für die radioleisen und radiolauten Quasare sind signifikant verschieden. Dieser Befund ist sehr gut im Einklang mit den Ergebnissen von Laor *et al.* (1994) und Schartel *et al.* (1996).

Der Vergleich der Mittelwerte zeigt klar, daß es sich beim *soft X-ray excess* um eine gängige Erscheinung im Röntgenspektrum von AGN handelt. Die Mittelwerte der Spektralindizes im Energieband $0.1-2.4$ keV sind mit $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}(58)}\rangle = 1.23^{+0.08}_{-0.08}$ für die Fits mit $N_{\mathrm{H,gal}}$ und $\langle\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}(58)}\rangle = 1.27^{+0.06}_{-0.06}$ für die Fits mit $N_{\mathrm{H,frei}}$ statistisch gesehen signifikant größer als der Mittelwert im Energieband $2-20$ keV, der bei $\langle\alpha_{2-20(58)}\rangle = 0.74^{+0.05}_{-0.05}$, liegt. Das wird auch durch den nach Maccacaro *et al.* (1988)

berechneten Mittelwert für die Differenzen der Spektralindizes zwischen den Energiebändern $0.1 - 2.4$ keV und $2 - 20$ keV untermauert. Er liegt wie in dem von Friedrich (1994) zusammengestellten Sample für alle Objektklassen bei etwa 0.5.

Weder die Mittelwerte noch die Differenzen der Spektralindizes lassen jedoch eine Aussage darüber zu, wie groß der Anteil der Quellen mit einem *soft X-ray excess* ist. Um darüber Auskunft zu erhalten, ist es erforderlich, für jede Quelle einzeln die Signifikanz zu ermitteln, mit der sich die Spektralindizes in den beiden Energiebändern unterscheiden. In der vorliegenden Arbeit sind bei etwas mehr als einem Drittel der Quellen im 58-Quellen-Sample die Spektralindizes im Energieband $0.1 - 2.4$ keV mit einer Signifikanz von 3σ größer als im Energieband $2 - 20$ keV. Dies entspricht in etwa dem Anteil, den auch Turner & Pounds (1989) und Comastri *et al.* (1992) für ihre Sample mit Messungen von *EXOSAT*/LE+ME ermittelt haben.

Analyse der ROSAT/PSPC-Spektren

Obschon die Mittelwerte und Differenzen der Spektralindizes eine Vorstellung davon vermitteln, wie gängig die Erscheinung des *soft X-ray excess* ist, ist im Einzelfall der Schluß, daß ein *soft X-ray excess* vorliegt, strenggenommen nur dann zwingend, wenn die Spektralindizes in den Energiebändern $0.1 - 2.4$ keV und $2 - 20$ keV anhand zeitgleicher Messungen ermittelt wurden. Diese Voraussetzung erfüllt in der vorliegenden Arbeit keine der Quellen. Wirklich verbindliche Aussagen lassen sich daher nur treffen, wenn das den *soft X-ray excess* kennzeichnende Aufsteilen des spektralen Verlaufs innerhalb der *ROSAT*/PSPC-Spektren direkt zu beobachten ist. Das ist bei den Quellen sicher der Fall, deren gemessene Spektren besser mit dem Fit eines doppelten Potenzgesetzes übereinstimmen als mit dem Fit eines einfachen Potenzgesetzes. Ihre Spektren zeichnen sich dadurch aus, daß die Residuen der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz deutliche Anzeichen für einen konkaven Knick aufweisen.

Bei elf Quellen stimmen die Fits mit einem doppelten Potenzgesetz besser mit den gemessenen Spektren überein als die Fits mit einem einfachen Potenzgesetz. Sie sind als sichere Kandidaten für AGN mit einem *soft X-ray excess* anzusehen. Für neun der elf Quellen ist es sogar möglich, die Ursache des *soft X-ray excess* eindeutig zu bestimmen, indem die Spektralindizes für das Energieband $2 - 20$ keV in die Interpretation miteinbezogen werden:

Bei vier der neun Quellen sind die Spektralindizes für die harte Komponente des doppelten Potenzgesetzes und für das Energieband $2 - 20$ keV nicht signifikant verschieden. Die Spektralindizes für die weiche Komponente des doppelten Potenzgesetzes sind dagegen signifikant größer als im Energieband $2 - 20$ keV. Das legt den Schluß nahe, daß es sich bei der harten Komponente des doppelten Potenzgesetzes um die Fortsetzung des einfachen Potenzgesetzes im Energieband 2 – 20 keV und bei der weichen Komponente des doppelten Potenzgesetzes um die den *soft X-ray excess* verursachende zusätzliche Emissionskomponente handelt.

Bei fünf der neun Quellen sind die Spektralindizes für die harte Komponente des doppelten Potenzgesetzes signifikant kleiner als für das Energieband 2 – 20 keV. Zugleich sind bei diesen Quellen die Spektralindizes für die weiche Komponente des doppelten Potenzgesetzes signifikant größer als im Energieband 2 – 20 keV. Das legt den Schluß nahe, daß es sich bei der harten Komponente des doppelten Potenzgesetzes um den blauen Flügel und bei der weichen Komponente des doppelten Potenzgesetzes um den roten Flügel eines warmen Absorbers handelt.

Betrachtet man die gemessenen Ereignisse in den *ROSAT*/PSPC-Spektren der elf Quellen, fällt auf, daß neun von ihnen zu den zehn Quellen im Sample gehören, die die höchste Statistik der Meßdaten aufweisen. Zusammen mit dem Befund, daß bei neun der elf Quellen entweder eine zusätzliche Emissionskomponente oder der warme Absorber als Ursache für den *soft X-ray excess* dominieren, legt dies die Vermutung nahe, daß der *soft X-ray excess* in den *ROSAT*/PSPC-Spektren nur unter diesen günstigen Voraussetzungen nachzuweisen ist. Das gibt wiederum Anlaß zu der Annahme, daß der *soft X-ray excess* unter Umständen eine weitaus gängigere Erscheinung ist, als der Vergleich der Spektralindizes in den Energiebändern 0.1 – 2.4 keV und 2 – 20 keV vermuten läßt.

Genaue Angaben darüber, wie groß der Anteil ist, sind jedoch nicht möglich. Selbst wenn von den übrigen Quellen im Sample ebenfalls Meßdaten mit einer hohen Statistik zur Verfügung stünden, wäre ein *soft X-ray excess* im *ROSAT*/PSPC-Spektrum wahrscheinlich zum überwiegenden Teil nur dann nachweisbar, wenn die zusätzliche Emissionskomponente oder der warme Absorber als Ursache für den *soft X-ray excess* dominieren. Nach wie vor wäre dann nicht zu entscheiden, ob in den übrigen Fällen lediglich eine Kombination von zusätzlicher Emissionskomponente und warmem Absorber vorliegt, die nicht als *soft X-ray excess* erkennbar ist, ob die Energiebandbreite nicht ausreicht, um den *soft X-ray excess* nachzuweisen oder ob in der Tat kein *soft X-ray excess* vorhanden ist.

Zukünftige Beobachtungen

In der vorliegenden Arbeit wurden nur für einen Teil der Quasare und Seyfert-1-Galaxien, von denen im *ROSAT*-Datenarchiv pointierte PSPC-Beobachtungen öffentlich zugänglich sind, die Spektren im Energieband 0.1 – 2.4 keV eingehend analysiert. Nicht berücksichtigt wurden alle Quellen, von denen im Katalog von Malaguti *et al.* (1994) keine mit *HEAO2*/MPC, *EXOSAT*/ME oder *Ginga*/LAC bestimmten Spektralindizes für das Energieband 2 – 20 keV verzeichnet sind. Es ist daher zu vermuten, daß im

ROSAT-Datenarchiv noch weitere pointierte PSPC-Beobachtungen öffentlich zugänglich sind, bei denen die Statistik der Meßdaten ausreicht, um in den Spektren einen *soft X-ray excess* nachzuweisen und eventuell auch dessen Ursache einzugrenzen. Neue Messungen können dagegen nicht mehr durchgeführt werden, da das Gas des *ROSAT*/PSPC aufgebraucht ist.

Abgesehen von diesen Ausnahmen, werden für die übrigen Quasare und Seyfert-1-Galaxien die Fragen, ob ein *soft X-ray excess* vorliegt und wodurch er verursacht wird, erst zu klären sein, wenn Beobachtungen verfügbar sind, die eine bessere Statstik der Meßdaten aufweisen und die das Energieband $0.1 - 10$ keV durchgehend abdecken. Im Energieband $0.4 - 10$ keV wurden mit *ASCA*/SIS bereits Spektren gemessen. Da sie jedoch keine Auskunft über den Verlauf der Spektren im Energieband $0.1 - 0.4$ keV geben, sind sie für eine Untersuchung des *soft X-ray excess* nur eingeschränkt geeignet. Ein warmer Absorber läßt sich mit ihnen sehr gut nachweisen, nicht aber eine zusätzliche Emissionskomponente (Reynolds 1996). Röntgenteleskope mit einer größeren Energiebandbreite und der erforderlichen effektiven Fläche für Meßdaten mit einer hohen Statistik werden erst in einigen Jahren an Bord der Röntgensatelliten *AXAF* und *XMM* zur Verfügung stehen.

5 Literatur

Antonucci, R.R.J. & Miller, J.S. 1985, SPECTROPOLARIMETRY AND THE NATURE OF NGC 1068, *Astrophys. J.*, **297**, 621.

Antonucci, R.R.J. 1993, UNIFIED MODELS FOR ACTIVE GALACTIC NUCLEI AND QUASARS, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **31**, 473.

Arnaud, K.A., Branduardi-Raymont, G., Culhane, J.L., Fabian, A.C., Hazard, C, McGlynn, T.A., Shafer, R.A., Tennant, A.F., Ward, M.J. 1985, EXOSAT OBSERVATIONS OF A STRONG SOFT X-RAY EXCESS, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **217**, 105.

Bade, N., Fink, H.H., Engels, D., Voges,W., Hagen, H.-J., Wisotzki, L. & Reimers, D. 1995, AGN FROM THE ROSAT ALL-SKY SURVEY, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **110**, 469.

Bechthold, J., Czerny, B., Elvis, M., Fabbiano, G. & Green, R.F. 1987, X-RAY SPECTRA OF PG QUASARS. II. THE X-RAY-ULTRAVIOLET EXCESS OF PG 1211+143, *Astrophys. J.*, **314**, 699.

Bevington, P.R. & Robinson, D.K 1992, DATA REDUCTION AND ERROR ANALYSIS FOR THE PHYSICAL SCIENCES, McGraw-Hill Inc., New York.

Blandford, R.D., Netzer, H. & Woltjer, L. 1990, ACTIVE GALACTIC NUCLEI, SAAS-FEE ADVANCED COURSE 20, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York.

Bohlin, R.C., Savage, B.D. & Drake, J.F. 1978, A SURVEY OF INTERSTELLAR H I FROM Lα ABSORPTION MEASUREMENTS. II., *Astrophys. J.*, **224**, 132.

Bradt, H.V.D., Ohashi, T. & Pounds, K.A. 1992, X-RAY ASTRONOMY MISSIONS, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **30**, 391.

Brandt, W.N., Fabian, A.C. & Pounds, K.A. 1996, ROSAT PSPC OBSERVATIONS OF THE INFRARED QUASAR IRAS 13349+2438: EVIDENCE FOR A WARM ABSORBER WITH INTERNAL DUST, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **278**, 326.

Bregman, J.N. 1994, THE ORIGIN OF CONTINUUM EMISSION IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *IAU Symposium*, **159**, 5.

Bronštein, I.N. & Semendjaev, K.A. 1991, TASCHENBUCH DER MATHEMATHIK, B.G. Teubner, Stuttgart.

Brunner, H. Friedrich, P., Zimmermann, H.U. & Staubert, R. 1992, SPECTRA OF RADIOLOUD QUASARS OBSERVED IN THE ROSAT/XRT ALL SKY SURVEY, *MPE Report*, **235**, 198.

Brunner, H., Lamer, G., Worrall, D.M. & Staubert, R. 1994, X-RAY SPECTRA OF A COMPLETE SAMPLE OF EXTRAGALACTIC CORE-DOMINATED RADIO SOURCES, *Astron. Astrophys.*, **287**, 436.

Brunner, H., Müller, C., Friedrich, P., Dörrer, T. & Riffert, H. 1997, UV TO X-RAY SPECTRA OF RADIO-QUIET QUASARS. COMPARISON WITH ACCRETION DISK MODELS, *Astron. Astrophys.*, , in prep.

Cappi, M., Mihara, T., Matsuoka, M., Hayashida, K., Weaver, K.A. & Otani, C., WARM ABSORBER, REFLECTION, AND FE K LINE IN THE X-RAY SPECTRUM OF IC 4329A 1996, *Astrophys. J.*, **458**, 149.

Collin-Souffrin, S. 1992, SPHERICAL AND/OR DISK ACCRETION IN AGN, In: Duschl, W.J. & Wagner, S.J. (Eds.), PHYSICS OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 133.

Comastri, A., Setti, G., Zamorani, G., Elvis, M., Giommi, P., Wilkes, B.J., McDowell, J.C. 1992, EXOSAT X-RAY SPECTRA OF QUASARS, *Astrophys. J.*, **384**, 62.

Courvoisier, T.J.-L. & Clavel, J. 1991, OBSERVATIONAL CONSTRAINTS ON DISC MODELS FOR QUASARS AND SEYFERT GALAXIES, *Astron. Astrophys.*, **248**, 389.

Czerny, B. & Życki, P.T. 1994, WEAK SOFT X-RAY EXCESS NEED NOT RESULT FROM THE HIGH FREQUENCY TAIL OF OPTICAL/UV BUMP IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *ApJ*, **431**, L15.

Dörrer, T. 1995, VERTIKALSTRUKTUR UND SPEKTRUM VON AKKRETIONSSCHEIBEN IN AKTIVEN GALAXIEN-KERNEN, Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Elvis, M., Green, R.F., Bechtold, J., Schmidt, M., Neugebauer, G., Soifer, B.T., Matthews, K. & Fabbiano, G. 1986, X-RAY SPECTRA OF PG QUASARS. I. THE CONTINUUM FROM X-RAYS TO INFRARED, *Astrophys. J.*, **310**, 291.

Elvis, M., Lockman, F.J., & Wilkes, B.J. 1989, ACCURATE GALACTIC $N_{\rm H}$ VALUES TOWARDS QUASARS AND AGN, *Astron. J.*, **97**, 777.

Fabian, A.C., Kunieda, H., Inoue, S., Matsuoka, M., Mihara, T., Miyamoto, S., Otani, C., Ricker, G., Tanaka, Y. Yamauchi, M. & Yaqoob, T. 1994, ASCA OBSERVATIONS OF THE WARM ABSORBER IN MCG-6-30-15: THE DISCOVERY OF A CHANGE IN COLUMN DENSITY, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **46**, L59.

Ferland, G.J. 1993, HAZY. A BRIEF INTRODUCTION TO CLOUDY 84, University of Kentucky Department of Physics and Astronomy Internal Report.

Fiore, F., Elvis, M. Mathur, S., Wilkes, B.J. & McDowell, J.C. 1993, THE ROSAT SPECTRUM OF 3C 351: A WARM ABSORBER IN AN X-RAY-"QUIET" QUASAR?, *Astrophys. J.*, **415**, 129.

Forman, W., Jones, C., Cominsky, L., Julien, P. Murray, S., Peters, G., Tananbaum, H. & Giacconi, R. 1978, THE FOURTH UHURU CATALOG OF X-RAY SOURCES, *Astrophys. J. Suppl.*, **38**, 357.

Friedrich, P. 1994, BEOBACHTUNGEN VON AKTIVEN GALAXIEN-KERNEN MIT DEM RÖNTGENSATELLITEN ROSAT, Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

George, I.M. & Fabian, A.C. 1991, X-RAY REFLECTION FROM COLD MATTER IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI AND X-RAY BINARIES, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **249**, 352.

George, I.M., Turner, T.J. & Netzer, H. 1995, THE DISCOVERY OF AN O VII EMISSION LINE IN THE ASCA SPECTRUM OF THE SEYFERT GALAXY NGC 3783, *Astrophys. J.*, **438**, L67.

Giacconi, R., Branduardi, G., Briel, U., Epstein, A., Fabricant, D., Feigelson, E., Forman, W., Gorenstein, P., Grindlay, J., Gursky, H., Harnden, F.R., Henry, P., Jones, C., Kellogg, E., Koch, D., Murray, S., Schreier, E., Seward, F., Tananbaum, H., Topka, K., Van Speybroek, L., Holt, S.S., Becker, R.H., Boldt, E.A., Serlemitsos, P.J., Clark, G., Canizares, C., Markert, T., Novick, R., Helfand, D. & Long, K. 1979, THE EINSTEIN (HEAO 2) X-RAY OBSERVATORY, *Astrophys. J.*, **230**, 540.

Greiner, J., Danner, R., Bade, N., Richter, G.A., Kroll, P. & Komossa, S. 1996, FOUR NEW ACTIVE GALAXIES WITH STEEP SOFT X-RAY SPECTRA, *Astron. Astrophys.*, **310**, 384.

Haardt, F. & Maraschi, L. 1991, A TWO PHASE MODEL FOR THE X-RAY EMISSION FROM SEYFERT GALAXIES, *Astrophys. J.*, **380**, L51.

Halpern, J.P. 1984, VARIABLE X-RAY ABSORPTION IN THE QSO MR 2251-178, *Astrophys. J.*, **281**, 90.

Hewitt, A. & Burbidge, G. 1993, A REVISED AND UPDATED CATALOG OF QUASI-STELLAR OBJECTS, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **87**, 451.

Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M. & Donner, K.J. (Hrsg.) 1990, ASTRONOMIE, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

Kollatschny, W. 1989, AKTIVE GALAXIEN, *SuW*, **28**, 215.

Korte, P.A.J. de, Bleeker, J.A.M., Boggende, A.J.F den, Branduardi-Raymont, G., Brinkman, A.C., Culhane, J.H., Gronenschild, E.H.B.M., Mason, I. & McKechnie, S.P. 1981, THE X-RAY IMAGING TELESCOPES ON EXOSAT, *Space Sci. Rev.*, **30**, 495.

Kruper, J.S., Urry, C.M. & Canizares, C.R. 1990, SOFT X-RAY PROPERTIES OF SEYFERT GALAXIS. I. SPECTRA, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **74**, 347.

Lamer, G. 1996, DIE RÖNTGENSPEKTREN DER BL-LACERTAE-OBJEKTE UND IDENTIFIKATION VON ROSAT-QUELLEN, Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Lampton, M., Margon, B. & Bowyer, S. 1976, PARAMETER ESTIMATION IN X-RAY ASTRONOMY, *Astrophys. J.*, **208**, 177.

Laor, A., Fiore, F., Elvis, M., Wilkes, B.J. & McDowell, J.C. 1994, THE SOFT X-RAY PROPERTIES OF A COMPLETE SAMPLE OF OPTICALLY SELECTED QUASARS. I. FIRST RESULTS, *Astrophys. J.*, **435**, 611.

Lawson, A.J., Turner, M.J.L., Williams, O.R., Stewart, G.C. & Saxton, R.D. 1992, RADIO-LOUD AND RADIO-QUIET QUASARS OBSERVED BY EXOSAT, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **259**, 743.

Lightman, A.P. & White, T.R. 1988, EFFECTS OF COLD MATTER IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI: A BROAD HUMP IN THE X-RAY SPECTRA, *Astrophys. J.*, **335**, 57.

Maccacaro, T., Gioia, I.M. & Wolter, A. 1988, THE X-RAY SPECTRA OF THE EXTRAGALACTIC SOURCES IN THE EINSTEIN EXTENDED MEDIUM SENSITIVITY SURVEY, *Astrophys. J.*, **326**, 680.

Madejski, G.M., Zdziarski, A.A., Turner, T.J., Done, C., Mushotzky, R.F., Hartman, R.C., Gehrels, N., Connors, A., Fabian, A.C., Nandra, K., Celotti, A., Rees, M.J., Johnson, W.N., Grove, J.E. & Starr, C.H. 1995, JOINT ROSAT-COMPTON GRO OBSERVATIONS OF THE X-RAY-BRIGHT SEYFERT GALAXY IC 4329A, *Astrophys. J.*, **438**, 672.

Makino, F. & The Astro-C Team 1987, THE X-RAY ASTRONOMY SATELLITE ASTRO-C, *Astro. Lett. and Communications*, **25**, 223.

Malaguti, G., Bassani, L. & Caroli, E. 1994, HIGH-ENERGY SPECTRA OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI. I. THE CATALOG, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **94**, 517.

Malkan, M.A. & Sargent, W.C.W. 1982, THE ULTRAVIOLETT EXCESS OF SEYERFT 1 GALAXIES AND QUASARS, *Astrophys. J.*, **254**, 22.

Mathur, S., Wilkes, B.J. & Aldcroft, Th. 1996, THE X-RAY WARM ABSORBER IN NGC 3516, *Astrophys. J.*, , in press.

Matt, G., Perola, G.C. & Piro, L. 1991, THE IRON LINE AND HIGH ENERGY BUMP AS X-RAY SIGNATURES OF COLD MATTER IN SEYFERT 1 GALAXIES, *Astron. Astrophys.*, **247**, 25.

Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik 1990, ROSAT, CALL FOR PROPOSALS FOR THE FIRST OBSERVING PERIOD NOVEMBER 1990 - APRIL 1991, TECHNICAL APPENDIX.

Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, 1991, ROSAT, CALL FOR PROPOSALS FOR THE SECOND OBSERVING PERIOD, TECHNICAL APPENDIX.

Mihara, T., Matsuoka, M., Mushotzky, R.F., Kunieda, H. Otani, C., Miyamoto & Yamauchi, M. 1994, SOFT X-RAY SPECTRAL FEATURES IN THE SEYFERT 1 GALAXY NGC 4051, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **46**, L137.

Molendi, S., Maraschi, L. & Stella, L. 1992, VARIABILITY OF THE OPTICAL-UV CONTINUUM IN NGC 5548: IMPLICATIONS FOR ACCRETION-DISC MODELS, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **255**, 27.

Morisson, R. & McCammon, D. 1983, INTERSTELLAR PHOTOELECTRIC ABSORPTION CROSS SECTION, 0.03–10 KEV, *Astrophys. J.*, **270**, 119.

Mushotzky, R.F., Marshall, F.E., Boldt, E.A., Holt, S.S. & Serlemitsos, P.J. 1980, HEAO 1 SPECTRA OF X-RAY EMITTING SEYFERT 1 GALAXIES, *Astrophys. J.*, **235**, 377.

Mushotzky, R.F. 1982, THE X-RAY SPECTRUM AND TIME VARIABILITY OF NARROW EMISSION LINE GALAXIES, *Astrophys. J.*, **256**, 92.

Mushotzky, R.F., Done, C. & Pounds, K.A. 1993, X-RAY SPECTRA AND TIME VARIABILITY OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **31**, 717.

Nandra, K., Pounds, K.A., Stewart, G.C., George, I.M. & Fabian, A.C. 1989, THE X-RAY SPECTRUM OF MCG-6-30-15, *ESA-SP*, **296**, 1021.

Nandra, K. & Pounds, K.A. 1992, HIGLY IONIZED GAS IN THE NUCLEUS OF THE ACTIVE GALAXY MCG-6-30-15, *Nature*, **359**, 215.

Nandra, K., Fabian, A.C., George, I.M., Branduardi-Raymont, G., Lawrence, A., Mason, K.O., McHardy, I.M.M., Pounds, K.A., Stewart, G.C., Ward, M.J. & Warwick, R.S. 1993, A ROSAT OBSERVATION OF NGC 5548, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **260**, 504.

Nandra, K. & Pounds, K.A. 1994, GINGA OBSERVATIONS OF THE X-RAY SPECTRA OF SEYFERT GALAXIES, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **268**, 405.

Netzer, H. 1993, IONIZED ABSORBERS, IONIZED EMITTERS, AND THE X-RAY SPECTRUM OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Astrophys. J.*, **411**, 594.

Osterbrock, D.E. 1993, THE NATURE AND STRUCTURE OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Astrophys. J.*, **404**, 551.

Pan, H.C., Stewart, G.C. & Pounds, K.A. 1990, THE VARIABLE X-RAY ABSORPTION AND SOFT X-RAY EXCESS OF THE QSO MR 2251-178, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **242**, 177.

Petre, R., Mushotzky, R.F, Krolik, J.H. & Holt, S.S. 1984, SOFT X-RAY SPECTRAL LUMINOSITY OBSERVATIONS OF QUASARS AND HIGH X-RAY LUMINOSITY SEYFERT GALAXIES, *Astrophys. J.*, **280**, 499.

Pfeffermann, E. & Briel, U.G. 1985, PERFORMANCE OF THE POSITION SENSITIVE PROPORTIONAL COUNTER OF THE ROSAT TELESCOPE, *Proc. SPIE*, **597**, 208.

Pflüger, B. 1996, UNTERSUCHUNGEN DES QUASARS 3C 273 MIT ROSAT, Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Pounds, K.A., Stanger, V.J., Turner, T.J., King, A.R. & Czerny, B. 1986, DISCOVERY OF A STRONG SOFT X-RAY EXCESS IN MKN 335 - EVIDENCE FOR AN ACCRETION DISK?, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **224**, 443.

Pounds, K.A., Nandra, K., Stewart, G.C., George, I.M. & Fabian, A.C. 1990, X-RAY REFLECTION FROM COLD MATTER IN THE NUCLEI OF ACTIVE GALAXIES, *Nature*, **344**, 132.

Pounds, A., Nandra, K., Fink, H.H. & Makino, F. 1994, CONSTRAINING THE COMPLEXITIES IN SEYFERT X-RAY SPECTRA - AN ANALYSIS OF SIMULTANEOUS OBSERVATIONS WITH GINGA AND ROSAT, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **267**, 193.

Pringle, J.E. & Rees, M.J. 1972, ACCRETION DISC MODELS FOR COMPACT X-RAY SOURCES, *Astron. Astrophys.*, **21**, 1.

Rees, M.J. 1984, BLACK HOLE MODELS FOR ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **22**, 471.

Reichert, G.A., Mushotzky, R.F., Petre, R. & Holt, S.S. 1985, SOFT X-RAY SPECTRAL OBSERVATIONS OF LOW-LUMINOSITY ACTIVE GALAXIES, *Astrophys. J.*, **296**, 69.

Reynolds, C.S. 1996, X-RAY EMISSION AND ABSORPTION IN ACTIVE GALAXIES, Dissertation, University of Cambridge.

Ross, R.R., Fabian, A.C. & Mineshige, S. 1992, THE SPECTRA OF ACCRETION DISCS IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **258**, 189.

Ross, R.R, & Fabian, A.C. 1993, THE EFFECTS OF PHOTOIONIZATION ON X-RAY REFLECTION SPECTRA IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **261**, 74.

Rothschild, R.E., Mushotzky, R.F., Baity, W.A., Gruber, D.E., Matteson, J.L. & Peterson, L.E. 1983, 2 - 165 KEV OBSERVATIONS OF ACTIVE GALAXIES AND THE DIFFUSE BACKGROUND, *Astrophys. J.*, **269**, 423.

Rush, B., Malkan, M.A., Fink, H.H & Voges, W. 1996, SOFT X-RAY PROPERTIES OF SEYFERT GALAXIES IN THE ROSAT ALL-SKY SURVEY, *Astrophys. J.*, **471**, 190.

Schartel, N., Walter, R., Fink, H.H. & Trümper, J. 1996, REDSHIFT DEPENDENCE OF SOFT X-RAY QUASAR SPECTRA, *Astron. Astrophys.*, submitted.

Schartel, N., Schmidt, M., Fink, H.H., Hasinger, G. & Trümper, J. 1997, THE PICCINOTTI AGN SAMPLE OBSERVED IN THE ROSAT ALL-SKY SURVEY, *Astron. Astrophys.*, accepted.

Seaton, M. J. 1979, INTERSTELLAR EXTINCTION IN THE UV, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **187**, 73p.

Shakura, N.I. & Sunyaev, R.A., BLACK HOLES IN BINARY SYSTEMS. OBSERVATIONAL APPEARANCE, *Astron. Astrophys.*, **24**, 337.

Shields, G.A. 1978, THERMAL CONTINUUM FROM ACCRETION DISKS IN QUASARS, *Nature*, **272**, 706.

Shimura, T. & Takahara, F. 1993, VERTICAL STRUCTURE AND EMISSION SPECTRUM OF AN ACCRETION DISK AROUND A MASSIVE BLACK HOLE, *Astrophys. J.*, **419**, 78.

Shimura, T. & Takahara, F. 1995, EMISSION SPECTRUM INTEGRATED OVER AN ACCRETION DISK: COMPARISON WITH OBSERVATIONS OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Astrophys. J.*, **440**, 610.

Stark, A.A., Gammie, C.F., Wilson, R.W., Bally, J., Linke, R.A., Heiles, C., & Hurwitz, M. 1992, THE BELL LABORATORIES H I SURVEY, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **79**, 77.

Staubert, R. 1992, RECENT RESULTS ON 3C 273, *MPE Report*, **235**, 42.

Staubert, R., Fink, H., Courvoisier, T.J.-L., Ulrich, M.-H. Brunner, H., Zimmermann, U. Kendziorra, E. & Otterbein, K. 1992, THE X-RAY SPECTRUM OF 3C 273 AS OBSERVED WITH ROSAT, *AIP Conf. Proc.*, **254**, 366.

Stickel, M., Meisenheimer, K. & Kühr, H. 1994, THE OPTICAL IDENTIFICATION STATUS OF THE 1 JY RADIO SOURCE CATALOGUE, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **105**, 211.

Taylor, B.G., Andresen, R.D., Peacock, A. & Zobl, R. 1981, THE EXOSAT MISSION, *Space Sci. Rev.*, **30**, 479.

Taylor, J.R. 1988, FEHLERANALYSE, VCH, Weinheim.

Trümper, J. 1990a, THE ROSAT MISSION, *IAU Coll.*, **115**, 291.

Trümper, J. 1990b, DER RÖNTGENSATELLIT ROSAT, *Phys. Bl.*, **46**, 137.

Turner, M.J.L., Smith, A. & Zimmerman. H.-U. 1981, THE MEDIUM ENERGY INSTRUMENT ON EXOSAT, *Space Sci. Rev.*, **30**, 531.

Turner, M.J.L., Williams, O.R., Saxton, R., Stewart, G.C., Courvoisier, T.J.-L., Ohashi, T., Makishima, K., Kii, T. & Inoue, H. 1989, THE SPECTRA (2-10 KEV) OF HIGH LUMINOSITY QUASARS, *ESA SP*, **296**, 769.

Turner, M.J.L, Thomas, H.D., Patchett, B.E., Reading, D.H., Makishima, K., Ohashi, T., Dotani, T. Hayashida, K., Inoue, H., Kondo, H., Koyama, K., Mitsuda, K., Ogawara, Y., Awaki, H., Tawara, Y. & Nakamura, N. 1989, THE LARGE AREA COUNTER ON GINGA, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **41**, 345.

Turner, T.J. & Pounds, K.A. 1989, THE EXOSAT SPECTRAL SURVEY OF AGN, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **240**, 833.

Turner, T.J., Nandra, K., George, I.M., Fabian, A.C. & Pounds, K.A. 1993, X-RAY OBSERVATIONS OF THE WARM ABSORBER IN NGC 3783, *Astrophys. J.*, **419**, 127.

Véron-Cetty, M.P. & Véron, P. 1993, QUASARS AND ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *ESO Scientific Report*, **13**.

Walter, R. & Fink. H.H. 1993, THE ULTRAVIOLET TO SOFT X-RAY BUMP OF SEYFERT 1 TYPE ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *Astron. Astrophys.*, **274**, 105.

White, N.E. & Peacock, A. 1988, THE EXOSAT OBSERVATORY, *Mem. Soc. Astron. Ital.*, **59**, 7.

Wilkes, B.J. & Elvis, M. 1987, QUASAR ENERGY DISTRIBUTIONS. I. SOFT X-RAY SPECTRA OF QUASRAS, *Astrophys. J.*, **323**, 243.

Williams, O.R., Turner, M.J.C, Stewart, G.C., Saxton, D., Ohashi, T., Makishima, K., Kii, T., Inoue, H., Makino, F., Hayashida, K. & Koyama, K. 1992, THE X-RAY SPECTRA OF HIGH-LIMINOSITY ACTIVE GALACTIC NUCLEI OBSERVED BY GINGA, *Astrophys. J.*, **389**, 157.

Zamorani, G., Henry, J.P., Maccacaro, T., Tananbaum, H., Soltan, A., Avni, Y., Liebert, J., Stocke, J., Strittmatter, A., Weymann, R.J., Smith, M.G. & Condon, J.J. 1981, X-RAY STUDIES OF QUASARS WITH THE EINSTEIN OBSERVATORY. II., *Astrophys. J.*, **245**, 357.

Zdziarski, A.A. 1992, NONTHERMAL ELECTRON-POSITRON PAIRS AND COLD MATTER IN THE CENTRAL ENGINE OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *AIP Conf. Proc.*, **254**, 291.

Zimmermann, H.U., Becker, W., Belloni, T., Döbereiner, S. Izzo, C., Kahabka, P. & Schwentker, O. 1994, EXSAS USER'S GUIDE, *MPE Report*, **257**.

6 Anhang

Tabelle 6.1: *Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband 2 – 20 keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
0007+106	HEAO2/MPC	1	10	21 06 79	$+1.15^{+0.61}_{-0.26}$	
	HEAO2/MPC	1	10	23 06 79	$+0.43^{+0.07}_{-0.08}$	
	HEAO2/MPC	1	10	09 01 80	$+0.95^{+0.59}_{-0.44}$	
	HEAO2/MPC	1	10	16 06 80	$+1.32^{+1.24}_{-0.57}$	
	EXOSAT/L+M	0.05	35	18 12 83	$+0.43^{+0.16}_{-0.16}$	
	EXOSAT/ME	1	10	18 07 85	$+0.62^{+0.05}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1	10	30 11 85	$+0.60^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	20 12 85	$+0.66^{+0.06}_{-0.09}$	$+0.77^{+0.19}_{-0.10}$
0014+813	EXOSAT/ME	1	10	30 11 85	$+0.52^{+0.47}_{-0.44}$	
	EXOSAT/ME	2	10	10 11 84	$+0.90^{+0.40}_{-0.40}$	$+0.71^{+0.31}_{-0.30}$
0026+129	EXOSAT/L+M	0.1	10	07 11 83	$+0.85^{+0.34}_{-0.25}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	16 07 84	$+0.98^{+0.17}_{-0.17}$	$+0.92^{+0.19}_{-0.15}$
0057+315	HEAO2/MPC	1	10	11 01 80	$+1.00^{+0.30}_{-0.14}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	15 11 83	$+0.82^{+0.19}_{-0.17}$	$+0.91^{+0.18}_{-0.11}$
0111−151	EXOSAT/L+M	0.1	10	20 07 84	$+0.88^{+0.09}_{-0.09}$	$+0.88^{+0.09}_{-0.09}$
0121−590	HEAO2/MPC	1	10	10 05 79	$+1.66^{+0.28}_{-0.19}$	
	HEAO2/MPC	1	10	26 06 79	$+0.97^{+0.16}_{-0.09}$	
	HEAO2/MPC	1	10	25 11 79	$+1.05^{+0.16}_{-0.10}$	
	HEAO2/MPC	1	20	27 12 79	$+0.89^{+0.06}_{-0.05}$	
	HEAO2/MPC	1	10	28 12 79	$+0.89^{+0.04}_{-0.05}$	
	HEAO2/MPC	1	10	05 06 80	$+1.30^{+0.31}_{-0.16}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	05 09 83	$+1.07^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1	10	09 10 83	$+1.13^{+0.16}_{-0.16}$	
	EXOSAT/ME	1	10	11 10 83	$+0.93^{+0.11}_{-0.11}$	
	EXOSAT/ME	1	10	13 10 83	$+0.87^{+0.10}_{-0.10}$	
	EXOSAT/ME	1	10	15 10 83	$+1.09^{+0.16}_{-0.16}$	
	EXOSAT/ME	1	10	17 10 83	$+0.96^{+0.19}_{-0.19}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	26 11 83	$+0.73^{+0.28}_{-0.21}$	
	EXOSAT/ME	1	10	17 10 84	$+1.14^{+0.22}_{-0.22}$	
	EXOSAT/ME	1	10	19 10 84	$+0.29^{+0.36}_{-0.36}$	
	EXOSAT/ME	1	10	21 10 84	$+0.64^{+0.25}_{-0.25}$	
	EXOSAT/ME	1	10	23 10 84	$+0.18^{+0.43}_{-0.43}$	
	EXOSAT/ME	1	10	25 10 84	$+0.96^{+0.22}_{-0.22}$	
	EXOSAT/ME	2	10	26 07 85	$+0.90^{+0.10}_{-0.10}$	$+0.93^{+0.05}_{-0.04}$
0133+207	EXOSAT/ME	2	10	27 07 84	$+1.40^{+0.40}_{-0.40}$	$+1.40^{+0.40}_{-0.40}$
0212−009	HEAO2/MPC	1	10	19 07 79	$+0.00^{+0.94}_{-0.35}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	03 01 84	$+0.93^{+0.16}_{-0.08}$	$+0.47^{+0.48}_{-0.18}$
0232−090	EXOSAT/ME	1	10	02 01 84	$+0.96^{+1.06}_{-0.84}$	$+0.96^{+1.06}_{-0.84}$
0236−524	EXOSAT/L+M	0.1	10	06 09 83	$+0.88^{+0.10}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1	10	17 12 84	$+0.77^{+0.09}_{-0.04}$	$+0.83^{+0.07}_{-0.03}$
0333+321	HEAO2/MPC	1	10	01 03 79	$+1.00^{+0.49}_{-0.42}$	
	HEAO2/MPC	1	10	12 08 79	$+0.50^{+0.57}_{-0.39}$	

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband 2 − 20 keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
	EXOSAT/L+M	0.6	10	25 01 85	$+0.61^{+0.16}_{-0.16}$	
	GINGA/LAC	2	30	03 02 89	$+0.72^{+0.07}_{-0.07}$	$+0.71^{+0.19}_{-0.15}$
0415+379	HEAO2/MPC	1	10	02 03 79	$+0.40^{+0.09}_{-0.09}$	
	HEAO2/MPC	1	10	14 02 80	$+0.51^{+0.36}_{-0.25}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	27 01 84	$+0.42^{+0.59}_{-0.44}$	
	GINGA/LAC	2	10	04 02 89	$+0.77^{+0.02}_{-0.02}$	$+0.52^{+0.17}_{-0.13}$
0418−550	HEAO2/MPC	1	10	31 12 79	$+0.48^{+0.09}_{-0.09}$	$+0.48^{+0.09}_{-0.09}$
0430+052	HEAO2/MPC	1	10	18 02 79	$+0.82^{+0.04}_{-0.04}$	
	HEAO2/MPC	1	10	08 03 79	$+0.86^{+0.04}_{-0.04}$	
	HEAO2/MPC	1	10	11 03 79	$+0.84^{+0.05}_{-0.05}$	
	HEAO2/MPC	1	10	15 08 79	$+0.80^{+0.19}_{-0.19}$	
	HEAO2/MPC	1	10	17 08 79	$+0.50^{+0.19}_{-0.19}$	
	HEAO2/MPC	1	10	20 08 79	$+0.48^{+0.09}_{-0.09}$	
	HEAO2/MPC	1	10	25 08 79	$+0.55^{+0.13}_{-0.13}$	
	HEAO2/MPC	1	10	27 08 79	$+0.72^{+0.07}_{-0.07}$	
	HEAO2/MPC	1	10	29 08 79	$+0.75^{+0.06}_{-0.06}$	
	HEAO2/MPC	1	10	05 09 79	$+0.85^{+0.03}_{-0.03}$	
	HEAO2/MPC	1	10	07 09 79	$+0.78^{+0.07}_{-0.07}$	
	HEAO2/MPC	1	10	18 08 80	$+0.83^{+0.05}_{-0.05}$	
	HEAO2/MPC	1	10	14 02 81	$+0.74^{+0.07}_{-0.07}$	
	EXOSAT/ME	1	10	31 01 86	$+0.18^{+0.07}_{-0.08}$	$+0.69^{+0.03}_{-0.03}$
0513−002	HEAO2/MPC	1	10	10 09 79	$+0.80^{+0.16}_{-0.19}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	08 09 83	$+0.81^{+0.09}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	24 01 85	$+1.19^{+0.05}_{-0.05}$	
	GINGA/LAC	2	10	22 11 88	$+0.81^{+0.02}_{-0.02}$	$+0.90^{+0.05}_{-0.05}$
0518−458	HEAO2/MPC	1	10	12 08 80	$+1.11^{+0.81}_{-0.50}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	05 01 86	$+0.80^{+0.17}_{-0.16}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	06 01 86	$+0.67^{+0.11}_{-0.10}$	$+0.86^{+0.28}_{-0.18}$
0637−752	HEAO2/MPC	1	10	30 10 79	$+0.60^{+0.73}_{-0.44}$	
	GINGA/LAC	1.5	35	04 07 88	$+0.76^{+0.21}_{-0.11}$	$+0.68^{+0.38}_{-0.23}$
0738+499	EXOSAT/L+M	0.1	10	30 03 84	$+0.75^{+0.09}_{-0.06}$	$+0.75^{+0.09}_{-0.06}$
0804+761	HEAO2/MPC	1	10	27 09 80	$+1.10^{+0.31}_{-0.23}$	
	GINGA/LAC	1.5	35	31 10 89	$+1.00^{+0.27}_{-0.14}$	$+1.05^{+0.21}_{-0.13}$
0951+693	HEAO2/M+H	2	10	03 05 78	$+1.40^{+0.13}_{-0.25}$	$+1.40^{+0.13}_{-0.25}$
1020+201	HEAO2/MPC	1	10	15 05 79	$+1.82^{+0.80}_{-0.71}$	
	HEAO2/MPC	1	10	20 05 79	$+0.70^{+1.19}_{-0.66}$	
	HEAO2/MPC	1	10	04 06 79	$+0.24^{+0.21}_{-0.21}$	
	HEAO2/MPC	1	10	11 05 80	$+1.32^{+1.14}_{-0.64}$	
	HEAO2/MPC	1	10	15 05 80	$+0.89^{+0.18}_{-0.14}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	25 11 85	$+0.46^{+0.10}_{-0.09}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	08 12 85	$+0.55^{+0.06}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	15 12 85	$+0.45^{+0.08}_{-0.06}$	

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband $2-20$ keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
	EXOSAT/L+M	0.1	10	27 12 85	$+0.56^{+0.23}_{-0.23}$	
	GINGA/LAC	2	20	16 04 88	$+0.68^{+0.06}_{-0.03}$	$+0.77^{+0.19}_{-0.12}$
1028+313	HEAO2/I+M	0.15	10	24 05 79	$+0.96^{+0.06}_{-0.06}$	$+0.96^{+0.06}_{-0.06}$
1103+728	HEAO2/MPC	1	10	27 04 79	$+1.60^{+0.46}_{-0.88}$	
	HEAO2/MPC	1	10	05 10 79	$+0.91^{+0.56}_{-0.32}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	06 12 85	$+0.18^{+0.20}_{-0.19}$	
	GINGA/LAC	3	19	07 10 89	$+0.51^{+0.03}_{-0.02}$	$+0.80^{+0.19}_{-0.24}$
1121+423	EXOSAT/ME	2	10	01 12 85	$+0.70^{+0.50}_{-0.50}$	$+0.70^{+0.50}_{-0.50}$
1122+546	EXOSAT/ME	1	10	25 03 84	$+0.70^{+0.54}_{-0.49}$	$+0.70^{+0.54}_{-0.49}$
1136−374	HEAO2/MPC	1	10	10 01 79	$+0.16^{+0.21}_{-0.21}$	
	HEAO2/MPC	1	10	01 01 80	$+0.56^{+0.13}_{-0.13}$	
	HEAO2/MPC	1	10	08 01 80	$+0.27^{+0.15}_{-0.17}$	
	HEAO2/MPC	1	10	09 01 80	$+0.30^{+0.21}_{-0.15}$	
	HEAO2/MPC	1	10	17 01 80	$+0.53^{+0.12}_{-0.11}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	13 12 83	$-0.68^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	10 06 84	$-0.60^{+0.02}_{-0.02}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	05 01 85	$-0.60^{+0.03}_{-0.02}$	$-0.01^{+0.05}_{-0.04}$
1137+660	EXOSAT/ME	2	10	13 12 84	$+0.80^{+0.30}_{-0.30}$	
	GINGA/LAC	2	20	- 05 89	$+1.00^{+0.14}_{-0.14}$	$+0.90^{+0.17}_{-0.17}$
1159−036	EXOSAT/ME	2	10	20 05 85	$+0.90^{+0.20}_{-0.20}$	$+0.90^{+0.20}_{-0.20}$
1200+448	HEAO2/MPC	1	10	16 12 79	$+0.70^{+0.52}_{-0.32}$	
	EXOSAT/L+M	0.05	10	08 04 84	$+0.93^{+0.08}_{-0.09}$	
	EXOSAT/ME	1	10	13 05 85	$+0.29^{+0.21}_{-0.21}$	
	EXOSAT/ME	1	10	03 12 85	$+0.92^{+0.03}_{-0.03}$	
	EXOSAT/ME	1	10	03 12 85	$+0.88^{+0.06}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	1	10	03 12 85	$+0.82^{+0.09}_{-0.08}$	
	EXOSAT/ME	1	10	04 12 85	$+0.54^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	2	37	03 06 87	$+0.67^{+0.17}_{-0.17}$	
	GINGA/LAC	2	37	03 06 87	$+0.73^{+0.07}_{-0.07}$	
	GINGA/LAC	2	37	03 06 87	$+0.79^{+0.06}_{-0.06}$	
	GINGA/LAC	2	37	03 06 87	$+0.96^{+0.06}_{-0.06}$	
	GINGA/LAC	1.7	10	13 05 88	$+0.93^{+0.17}_{-0.17}$	
	GINGA/LAC	1.7	10	13 05 88	$+1.19^{+0.14}_{-0.14}$	
	GINGA/LAC	1.7	10	13 05 88	$+1.15^{+0.15}_{-0.15}$	
	GINGA/LAC	1.7	10	13 05 88	$+1.21^{+0.14}_{-0.14}$	
	GINGA/LAC	1.7	10	13 05 88	$+0.92^{+0.10}_{-0.10}$	$+0.85^{+0.04}_{-0.03}$
1208+396	HEAO2/MPC	1	14	19 05 79	$+0.45^{+0.43}_{-0.34}$	
	HEAO2/MPC	1	14	26 05 79	$+0.44^{+0.35}_{-0.28}$	
	HEAO2/MPC	1	14	31 05 79	$+0.48^{+0.26}_{-0.26}$	
	HEAO2/MPC	1	14	12 12 79	$+0.38^{+0.34}_{-0.34}$	
	HEAO2/MPC	1	14	20 05 80	$+0.52^{+0.20}_{-0.15}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	12 07 83	$+0.23^{+0.07}_{-0.07}$	

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband 2 – 20 keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
	EXOSAT/ME	3.5	25	07 11 83	$+0.50^{+0.22}_{-0.19}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	11 11 83	$+0.80^{+0.31}_{-0.28}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	15 11 83	$+0.76^{+0.38}_{-0.30}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	19 11 83	$+0.80^{+0.47}_{-0.38}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	16 12 83	$+0.85^{+0.69}_{-0.58}$	
	EXOSAT/ME	3.5	10	08 04 84	$+0.65^{+0.13}_{-0.13}$	
	EXOSAT/ME	3.5	10	18 04 84	$+0.65^{+0.13}_{-0.13}$	
	EXOSAT/ME	1	10	03 06 84	$+0.51^{+0.12}_{-0.11}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	16 12 84	$+0.32^{+0.27}_{-0.22}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	19 12 84	$+0.56^{+0.13}_{-0.07}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	22 12 84	$+0.63^{+0.07}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	24 12 84	$+0.54^{+0.11}_{-0.09}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	28 12 84	$+0.55^{+0.28}_{-0.17}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	02 01 85	$+0.64^{+0.06}_{-0.05}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	27 01 85	$+0.53^{+0.07}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	21 04 85	$+0.44^{+0.25}_{-0.21}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	27 04 85	$+0.55^{+0.19}_{-0.15}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	08 05 85	$+0.75^{+0.20}_{-0.18}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	15 05 85	$+0.56^{+0.11}_{-0.09}$	
	EXOSAT/ME	3.5	15	23 05 85	$+0.94^{+0.41}_{-0.28}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	30 05 85	$+0.55^{+0.22}_{-0.16}$	
	EXOSAT/ME	3.5	25	01 03 86	$+0.55^{+0.15}_{-0.11}$	
	EXOSAT/ME	3.5	15	03 03 86	$+0.22^{+0.70}_{-0.63}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	29 05 87	$+0.50^{+0.11}_{-0.10}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	29 05 87	$+0.49^{+0.09}_{-0.09}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	21 11 87	$+0.39^{+0.08}_{-0.07}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	28 11 87	$+0.51^{+0.17}_{-0.13}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	07 12 87	$+0.69^{+0.03}_{-0.03}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	17 12 87	$+0.69^{+0.03}_{-0.03}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	13 12 88	$+0.45^{+0.06}_{-0.05}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	13 12 88	$+0.55^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	4.0	23	07 01 89	$+0.70^{+0.02}_{-0.03}$	$+0.56^{+0.04}_{-0.04}$
1215+300	EXOSAT/L+M	0.1	10	29 12 85	$+0.81^{+0.07}_{-0.07}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	30 12 85	$+0.98^{+0.08}_{-0.07}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	30 12 85	$+1.14^{+0.07}_{-0.07}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	31 12 85	$+0.95^{+0.06}_{-0.07}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	31 12 85	$+1.07^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1	10	01 01 86	$+0.63^{+0.21}_{-0.21}$	$+0.93^{+0.04}_{-0.04}$
1219+755	HEAO2/MPC	1	10	22 11 78	$+1.40^{+0.74}_{-0.53}$	
	HEAO2/MPC	1	10	20 04 80	$+1.10^{+0.24}_{-0.14}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	10 11 83	$+0.73^{+0.39}_{-0.34}$	
	GINGA/LAC	1.7	17.	16 01 88	$+0.95^{+0.13}_{-0.11}$	$+1.05^{+0.22}_{-0.16}$

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband 2 − 20 keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
1226+023	HEAO2/MPC	1.5	10	12 12 78	$+0.52^{+0.03}_{-0.02}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	13 12 78	$+0.48^{+0.03}_{-0.02}$	
	HEAO2/MPC	1.2	10	20 06 79	$+0.42^{+0.09}_{-0.09}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	22 06 79	$+0.50^{+0.03}_{-0.03}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	23 06 79	$+0.48^{+0.02}_{-0.04}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	24 06 79	$+0.44^{+0.03}_{-0.04}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	24 06 79	$+0.48^{+0.04}_{-0.04}$	
	HEAO2/MPC	1.2	10	01 01 80	$+0.43^{+0.05}_{-0.05}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	24 06 80	$+0.44^{+0.04}_{-0.03}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	06 01 81	$+0.44^{+0.06}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1	10	17 12 83	$+0.54^{+0.03}_{-0.02}$	
	EXOSAT/ME	1	10	05 01 84	$+0.45^{+0.06}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	1	10	29 01 84	$+0.43^{+0.09}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	1	10	15 05 84	$+0.42^{+0.07}_{-0.05}$	
	EXOSAT/ME	1	10	28 06 84	$+0.46^{+0.02}_{-0.02}$	
	EXOSAT/ME	1	10	01 02 85	$+0.49^{+0.07}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	18 05 85	$+0.50^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1	10	17 01 86	$+0.51^{+0.02}_{-0.01}$	
	GINGA/LAC	1.7	17.3	08 07 87	$+0.52^{+0.04}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	1.7	17.3	27 12 87	$+0.53^{+0.02}_{-0.01}$	
	GINGA/LAC	1.7	17.3	25 05 88	$+0.46^{+0.01}_{-0.01}$	
	GINGA/LAC	1.7	17.3	04 06 88	$+0.47^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	1.7	17.3	27 12 88	$+0.44^{+0.03}_{-0.02}$	
	GINGA	2	10	- 12 89	$+0.57^{+0.01}_{-0.01}$	
	GINGA	2	10	- 12 90	$+0.58^{+0.01}_{-0.01}$	$+0.48^{+0.01}_{-0.01}$
1237−050	HEAO2/MPC	1	10	25 06 79	$-0.10^{+0.20}_{-0.16}$	
	HEAO2/MPC	1	10	19 06 80	$+0.79^{+1.19}_{-0.39}$	
	EXOSAT/ME	2	10	03 02 84	$+0.73^{+0.18}_{-0.12}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	02 06 84	$+0.73^{+0.12}_{-0.06}$	
	GINGA/LAC	2	30	25 06 87	$+0.64^{+0.03}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	2	10	13 12 88	$+0.73^{+0.02}_{-0.02}$	$+0.59^{+0.20}_{-0.07}$
1253−055	GINGA/LAC	1.5	30	23 06 87	$+0.72^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	1.5	30	06 07 88	$+0.58^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	1.5	30	21 01 89	$+0.67^{+0.03}_{-0.03}$	
	GINGA/LAC	1.5	30	22 01 89	$+0.68^{+0.06}_{-0.06}$	$+0.66^{+0.02}_{-0.02}$
1307+085	GINGA/LAC	1.5	35	06 06 89	$+1.26^{+0.37}_{-0.28}$	$+1.26^{+0.37}_{-0.28}$
1333−340	HEAO2/MPC	1	10	26 07 79	$+0.65^{+0.05}_{-0.05}$	
	HEAO2/MPC	1	10	25 07 80	$+0.81^{+0.17}_{-0.13}$	
	EXOSAT/ME	2	10	28 01 86	$+1.16^{+0.06}_{-0.05}$	
	EXOSAT/L+M	0.05	10	29 01 86	$+0.70^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	1.5	18	09 09 87	$+0.68^{+0.06}_{-0.06}$	
	GINGA/LAC	1.5	18	09 09 87	$+0.84^{+0.04}_{-0.04}$	

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband 2 – 20 keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
	GINGA/LAC	1.5	18	09 09 87	$+1.07^{+0.05}_{-0.05}$	
	GINGA/LAC	2	10	24 06 89	$+0.88^{+0.01}_{-0.01}$	$+0.85^{+0.03}_{-0.02}$
1346−300	HEAO2/MPC	1	10	18 01 79	$+0.82^{+0.06}_{-0.07}$	
	HEAO2/MPC	1	10	06 08 79	$+0.64^{+0.09}_{-0.08}$	
	HEAO2/MPC	1	10	11 08 79	$+0.68^{+0.03}_{-0.03}$	
	HEAO2/MPC	1	10	23 07 80	$+0.88^{+0.11}_{-0.12}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	19 07 84	$+0.85^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	31 07 85	$+0.77^{+0.04}_{-0.03}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	31 07 85	$+0.82^{+0.06}_{-0.06}$	
	GINGA/LAC	1.7	18	08 07 89	$+0.92^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	1.7	18	08 07 89	$+0.94^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	1.7	18	08 07 89	$+0.95^{+0.03}_{-0.03}$	$+0.83^{+0.02}_{-0.02}$
1351+695	HEAO2/MPC	1	10	21 04 79	$+1.26^{+0.29}_{-0.28}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	16 11 83	$+0.84^{+0.06}_{-0.06}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	28 01 84	$+0.40^{+0.04}_{-0.02}$	$+0.83^{+0.10}_{-0.10}$
1353+388	EXOSAT/L+M	0.1	10	27 06 85	$+0.33^{+0.06}_{-0.04}$	$+0.33^{+0.06}_{-0.04}$
1415+253	HEAO2/MPC	1	10	17 01 79	$+0.40^{+0.13}_{-0.12}$	
	HEAO2/MPC	1	10	29 06 79	$+0.47^{+0.05}_{-0.04}$	
	HEAO2/MPC	1	10	29 06 80	$+0.60^{+0.07}_{-0.07}$	
	HEAO2/MPC	1	10	30 06 80	$+0.53^{+0.09}_{-0.05}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	11 07 84	$+0.60^{+0.04}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	2	10	03 03 85	$+0.53^{+0.09}_{-0.01}$	
	EXOSAT/ME	2	10	08 06 85	$+0.74^{+0.03}_{-0.17}$	
	EXOSAT/ME	2	10	22 06 85	$+0.55^{+0.08}_{-0.08}$	
	EXOSAT/ME	2	10	05 07 85	$+0.15^{+0.08}_{-0.03}$	
	EXOSAT/ME	2	10	14 07 85	$+0.30^{+0.20}_{-0.10}$	
	GINGA/LAC	2	20	24 06 88	$+0.78^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	2	10	09 01 89	$+0.42^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	2	10	28 01 89	$+0.55^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	2	10	08 06 89	$+0.60^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	2	10	13 07 89	$+0.72^{+0.01}_{-0.01}$	$+0.53^{+0.02}_{-0.02}$
1416−129	HEAO2/MPC	1	10	03 08 80	$+0.50^{+1.29}_{-0.47}$	
	HEAO2/MPC	1	10	30 01 81	$+0.54^{+0.21}_{-0.19}$	
	GINGA/LAC	1.7	17.3	02 02 88	$+0.08^{+0.14}_{-0.12}$	$+0.37^{+0.44}_{-0.17}$
1426+015	HEAO2/MPC	1	10	03 08 80	$+0.90^{+0.72}_{-0.47}$	
	HEAO2/MPC	1	10	05 01 81	$+0.70^{+0.27}_{-0.21}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	06 07 85	$+1.10^{+0.04}_{-0.04}$	$+0.90^{+0.26}_{-0.17}$
1501+106	HEAO2/MPC	1	10	18 01 80	$+0.40^{+0.22}_{-0.22}$	
	EXOSAT/ME	1	10	12 07 84	$+0.59^{+0.31}_{-0.29}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	22 02 86	$+0.46^{+0.06}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	2	10	30 06 89	$+0.00^{+0.12}_{-0.12}$	
	GINGA/LAC	2	10	23 07 90	$+0.63^{+0.07}_{-0.07}$	$+0.42^{+0.08}_{-0.08}$

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband 2 – 20 keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
1510–089	HEAO2/MPC	1	10	10 02 80	$+1.09^{+1.51}_{-0.64}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	03 08 84	$+0.40^{+0.22}_{-0.19}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	31 07 85	$+0.44^{+0.26}_{-0.23}$	$+0.64^{+0.52}_{-0.24}$
1534+580	EXOSAT/L+M	0.1	10	24 02 86	$+0.73^{+0.19}_{-0.09}$	$+0.73^{+0.19}_{-0.09}$
1615+061	EXOSAT/L+M	0.05	10	07 07 85	$+0.60^{+0.30}_{-0.30}$	$+0.60^{+0.30}_{-0.30}$
1641+399	HEAO2/MPC	1	10	12 02 80	$+0.40^{+0.72}_{-0.31}$	
	GINGA/LAC	1.5	35	27 04 89	$+0.40^{+0.06}_{-0.06}$	$+0.40^{+0.36}_{-0.16}$
1720+309	HEAO2/MPC	1	10	26 03 79	$+0.30^{+0.78}_{-0.38}$	$+0.30^{+0.78}_{-0.38}$
1721+343	GINGA/LAC	2	20	05 05 89	$+0.64^{+0.11}_{-0.09}$	$+0.64^{+0.11}_{-0.09}$
1821+643	EXOSAT/ME	1.5	10	07 07 84	$+0.84^{+0.23}_{-0.10}$	
	EXOSAT/ME	1.5	10	16 05 85	$+0.74^{+0.08}_{-0.02}$	
	EXOSAT/ME	1.5	10	09 06 85	$+0.82^{+0.10}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1.5	10	06 07 85	$+0.74^{+0.11}_{-0.05}$	
	EXOSAT/ME	1.5	10	11 08 85	$+0.80^{+0.09}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1.5	10	07 10 85	$+0.84^{+0.10}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	1.5	10	23 10 85	$+0.87^{+0.12}_{-0.06}$	
	GINGA/LAC	1.5	35	12 05 87	$+1.04^{+0.11}_{-0.10}$	
	GINGA/LAC	1.5	18	27 09 88	$+0.87^{+0.03}_{-0.03}$	
	GINGA/LAC	1.7	35	27 10 88	$+0.88^{+0.05}_{-0.04}$	$+0.84^{+0.04}_{-0.02}$
1845+797	HEAO2/MPC	1	10	21 11 78	$+0.30^{+0.15}_{-0.10}$	
	HEAO2/MPC	1	10	08 04 80	$+0.40^{+0.32}_{-0.21}$	
	EXOSAT/ME	1	10	04 09 83	$+0.68^{+0.13}_{-0.05}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	02 02 85	$+0.42^{+0.09}_{-0.09}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	02 02 85	$+0.60^{+0.07}_{-0.07}$	
	EXOSAT/ME	1	10	07 11 85	$+0.79^{+0.32}_{-0.14}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	17 03 86	$+0.53^{+0.06}_{-0.06}$	
	GINGA/LAC	2	10	11 11 88	$+0.80^{+0.01}_{-0.01}$	$+0.57^{+0.06}_{-0.04}$
1916–587	HEAO2/MPC	1	10	30 03 79	$+1.14^{+0.07}_{-0.07}$	
	HEAO2/MPC	1	10	13 10 79	$+1.03^{+0.05}_{-0.05}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	01 11 84	$+0.52^{+0.14}_{-0.04}$	$+0.90^{+0.05}_{-0.03}$
1928+738	EXOSAT/L+M	0.1	10	12 11 83	$+1.25^{+0.24}_{-0.18}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	10 12 83	$+1.11^{+0.25}_{-0.26}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	09 01 84	$+3.20^{+1.19}_{-0.92}$	$+1.85^{+0.41}_{-0.32}$
1939–104	EXOSAT/L+M	0.1	10	25 11 83	$+0.54^{+0.14}_{-0.09}$	
	GINGA/LAC	2.3	20.9	28 04 89	$+0.45^{+0.07}_{-0.07}$	
	GINGA/LAC	2.3	20.9	28 04 89	$+0.39^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	2.3	20.9	28 04 89	$+0.40^{+0.03}_{-0.03}$	
	GINGA/LAC	2.3	20.9	28 04 89	$+0.44^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	3	30	06 10 90	$+0.46^{+0.04}_{-0.04}$	$+0.45^{+0.03}_{-0.02}$
2041–109	HEAO2/MPC	1	10	21 04 79	$+0.76^{+0.15}_{-0.12}$	
	HEAO2/MPC	1	10	25 04 79	$+0.91^{+0.05}_{-0.05}$	
	HEAO2/MPC	1	10	11 05 79	$+0.83^{+0.13}_{-0.08}$	

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband* $2-20$ *keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
	HEAO2/MPC	1	10	14 05 79	$+0.90^{+0.06}_{-0.06}$	
	EXOSAT/ME	1	10	10 10 83	$+0.68^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/ME	1	10	22 10 83	$+0.81^{+0.03}_{-0.03}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	03 11 83	$+0.86^{+0.06}_{-0.03}$	
	GINGA/LAC	1	30	08 10 88	$+0.71^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	1	30	08 10 88	$+0.76^{+0.02}_{-0.02}$	
	GINGA/LAC	1	30	08 10 88	$+0.76^{+0.01}_{-0.01}$	
	GINGA/LAC	1	30	08 10 88	$+0.82^{+0.01}_{-0.01}$	
	GINGA/LAC	1	30	12 10 88	$+0.66^{+0.01}_{-0.01}$	
	GINGA/LAC	1	30	13 10 88	$+0.71^{+0.01}_{-0.01}$	$+0.78^{+0.02}_{-0.01}$
2126−158	EXOSAT/L+M	0.1	10	13 05 84	$-0.68^{+0.09}_{-0.09}$	$-0.68^{+0.09}_{-0.09}$
2130+099	EXOSAT/L+M	0.1	10	16 11 84	$+0.37^{+0.36}_{-0.08}$	
	GINGA/LAC	1.5	35	07 11 89	$+1.39^{+0.22}_{-0.20}$	$+0.88^{+0.21}_{-0.11}$
2135−147	EXOSAT/L+M	0.1	10	12 05 84	$+0.59^{+0.23}_{-0.22}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	19 05 84	$+0.35^{+0.26}_{-0.29}$	
	GINGA/LAC	1.5	35	10 05 88	$+0.88^{+0.08}_{-0.07}$	$+0.61^{+0.12}_{-0.12}$
2141+175	EXOSAT/ME	2	10	25 11 83	$+0.60^{+0.70}_{-0.60}$	$+0.60^{+0.70}_{-0.60}$
2201+315	GINGA/LAC	1.7	17.3	04 11 89	$+0.73^{+0.34}_{-0.26}$	$+0.73^{+0.34}_{-0.26}$
2206−474	HEAO2/MPC	1.5	10	22 04 79	$+0.85^{+0.07}_{-0.07}$	
	HEAO2/M+I	1.5	10	28 10 79	$+1.10^{+0.38}_{-0.38}$	
	HEAO2/MPC	1.5	10	15 05 80	$+0.72^{+0.07}_{-0.07}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	06 11 83	$+0.76^{+0.04}_{-0.02}$	$+0.86^{+0.10}_{-0.10}$
2221−023	GINGA/LAC	2	17	02 11 88	$+0.68^{+0.24}_{-0.21}$	$+0.68^{+0.24}_{-0.21}$
2223−052	EXOSAT/ME	1	10	02 12 83	$+0.89^{+0.21}_{-0.21}$	
	EXOSAT/ME	1	10	11 12 83	$+1.57^{+0.43}_{-0.38}$	
	GINGA/LAC	2	35	- 06 87	$+0.70^{+0.13}_{-0.13}$	
	GINGA/LAC	2	35	01 11 88	$+0.59^{+0.06}_{-0.06}$	$+0.94^{+0.12}_{-0.11}$
2251+158	GINGA/LAC	1.5	30	27 11 87	$+1.46^{+0.06}_{-0.06}$	$+1.46^{+0.06}_{-0.06}$
2251−178	HEAO2/MPC	1	10	01 06 79	$+0.52^{+0.11}_{-0.11}$	
	HEAO2/MPC	1	10	20 05 80	$+0.72^{+0.22}_{-0.19}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	06 10 83	$+0.63^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	15 10 83	$+0.59^{+0.07}_{-0.06}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	27 10 83	$+0.57^{+0.11}_{-0.11}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	06 11 83	$+0.63^{+0.12}_{-0.09}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	17 11 83	$+0.52^{+0.09}_{-0.07}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	27 11 83	$+0.60^{+0.07}_{-0.07}$	
	EXOSAT/ME	1	10	28 11 83	$+0.57^{+0.31}_{-0.24}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	09 12 83	$+0.55^{+0.10}_{-0.10}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	18 12 83	$+0.59^{+0.11}_{-0.09}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	27 12 83	$+0.47^{+0.13}_{-0.11}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	10 07 84	$+0.63^{+0.11}_{-0.12}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	18 10 84	$+0.26^{+0.11}_{-0.10}$	

Tabelle 6.1: *(Fortsetzung) Dem Katalog von Malaguti et al. (1994) entnommene Spektralindizes im Energieband $2-20$ keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Instrument	Energieband [keV]		Datum	α	$\overline{\alpha}$
	EXOSAT/ME	1	10	26 10 83	$+0.49^{+0.15}_{-0.14}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	02 11 84	$+0.42^{+0.11}_{-0.08}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	11 11 84	$+0.38^{+0.11}_{-0.08}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	20 11 84	$+0.59^{+0.11}_{-0.08}$	
	EXOSAT/L+M	0.03	10	27 11 84	$+0.49^{+0.09}_{-0.07}$	$+0.54^{+0.03}_{-0.03}$
2300+086	HEAO2/MPC	1	10	04 06 79	$+1.04^{+0.04}_{-0.04}$	
	HEAO2/MPC	1	10	22 06 79	$+0.80^{+0.11}_{-0.13}$	
	HEAO2/MPC	1	10	23 06 79	$+1.12^{+0.09}_{-0.09}$	
	HEAO2/MPC	1	10	23 06 79	$+0.93^{+0.10}_{-0.08}$	
	HEAO2/MPC	1	10	19 06 80	$+0.68^{+0.23}_{-0.13}$	
	HEAO2/MPC	1	10	20 12 80	$+1.20^{+0.24}_{-0.18}$	
	HEAO2/MPC	1	10	06 01 81	$+1.12^{+0.10}_{-0.09}$	
	EXOSAT/ME	1	10	05 11 83	$+0.85^{+0.41}_{-0.19}$	
	EXOSAT/ME	1	10	02 07 84	$+1.09^{+0.11}_{-0.05}$	
	EXOSAT/ME	1	10	06 07 84	$+0.80^{+0.24}_{-0.08}$	
	EXOSAT/ME	1	10	09 07 84	$+0.70^{+0.50}_{-0.15}$	
	EXOSAT/ME	1	10	10 07 84	$+0.82^{+0.17}_{-0.02}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	28 11 84	$+0.78^{+0.06}_{-0.03}$	
	GINGA/LAC	1.7	30	09 07 88	$+0.92^{+0.02}_{-0.02}$	$+0.92^{+0.06}_{-0.03}$
2302−089	HEAO2/MPC	1	10	28 05 79	$+0.68^{+0.07}_{-0.06}$	
	HEAO2/MPC	1	10	03 06 79	$+0.72^{+0.06}_{-0.07}$	
	EXOSAT/ME	2	10	06 11 83	$+0.69^{+0.33}_{-0.11}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	16 11 84	$+0.52^{+0.04}_{-0.04}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	17 11 84	$+0.58^{+0.05}_{-0.06}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	20 11 84	$+0.52^{+0.06}_{-0.05}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	24 11 84	$+0.63^{+0.05}_{-0.05}$	
	EXOSAT/L+M	0.1	10	26 11 84	$+0.62^{+0.04}_{-0.04}$	
	GINGA/LAC	2	10	19 06 89	$+0.51^{+0.02}_{-0.02}$	$+0.61^{+0.04}_{-0.02}$

Tabelle 6.2: *IAU-Name, Position und Rotverschiebung für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Position (2000)		z
	R.A.	Dekl.	
0007+106	$00^h\ 10^m\ 25.27^s$	$+10°\ 59'\ 18.2''$	0.090
0014+813	$00^h\ 17^m\ 06.00^s$	$+81°\ 35'\ 50.7''$	3.384
0026+129	$00^h\ 29^m\ 08.10^s$	$+13°\ 16'\ 50.2''$	0.142
0057+315	$00^h\ 59^m\ 48.02^s$	$+31°\ 50'\ 16.8''$	0.015
0111−151	$01^h\ 13^m\ 43.21^s$	$-14°\ 50'\ 12.5''$	0.052
0121−590	$01^h\ 23^m\ 37.75^s$	$-58°\ 47'\ 39.8''$	0.046
0133+207	$01^h\ 36^m\ 18.90^s$	$+20°\ 57'\ 58.1''$	0.425
0212−009	$02^h\ 14^m\ 26.60^s$	$-00°\ 45'\ 34.8''$	0.027
0232−090	$02^h\ 34^m\ 30.00^s$	$-08°\ 46'\ 49.5''$	0.043
0236−524	$02^h\ 38^m\ 10.82^s$	$-52°\ 10'\ 40.4''$	0.045
0333+321	$03^h\ 36^m\ 24.80^s$	$+32°\ 18'\ 40.2''$	1.259
0415+379	$04^h\ 18^m\ 16.49^s$	$+38°\ 01'\ 39.4''$	0.048
0418−550	$04^h\ 19^m\ 49.46^s$	$-54°\ 55'\ 53.9''$	0.004
0430+052	$04^h\ 33^m\ 03.98^s$	$+05°\ 21'\ 18.6''$	0.033
0513−002	$05^h\ 16^m\ 03.99^s$	$-00°\ 09'\ 04.1''$	0.033
0518−458	$05^h\ 19^m\ 33.69^s$	$-45°\ 46'\ 42.4''$	0.034
0637−752	$06^h\ 35^m\ 28.50^s$	$-75°\ 16'\ 27.8''$	0.654
0738+499	$07^h\ 42^m\ 28.01^s$	$+49°\ 48'\ 03.2''$	0.022
0804+761	$08^h\ 10^m\ 59.47^s$	$+76°\ 02'\ 14.1''$	0.100
0951+693	$09^h\ 55^m\ 28.68^s$	$+69°\ 03'\ 16.8''$	
1020+201	$10^h\ 23^m\ 23.70^s$	$+19°\ 50'\ 54.4''$	0.003
1028+313	$10^h\ 30^m\ 51.85^s$	$+31°\ 02'\ 00.5''$	0.177
1103+728	$11^h\ 06^m\ 41.61^s$	$+72°\ 33'\ 26.1''$	0.009
1121+423	$11^h\ 24^m\ 31.61^s$	$+42°\ 01'\ 02.2''$	0.234
1122+546	$11^h\ 25^m\ 29.12^s$	$+54°\ 22'\ 17.1''$	0.020
1136−374	$11^h\ 38^m\ 55.93^s$	$-37°\ 45'\ 08.3''$	0.009
1137+660	$11^h\ 39^m\ 50.19^s$	$+65°\ 47'\ 10.3''$	0.652
1159−036	$12^h\ 02^m\ 06.90^s$	$-03°\ 55'\ 27.5''$	1.102
1200+448	$12^h\ 03^m\ 02.27^s$	$+44°\ 31'\ 15.4''$	0.002
1208+396	$12^h\ 10^m\ 24.99^s$	$+39°\ 23'\ 43.3''$	0.003
1215+300	$12^h\ 18^m\ 18.46^s$	$+29°\ 47'\ 57.7''$	0.012
1219+755	$12^h\ 21^m\ 35.62^s$	$+75°\ 17'\ 56.7''$	0.070
1226+023	$12^h\ 29^m\ 00.85^s$	$+02°\ 02'\ 20.4''$	0.158
1237−050	$12^h\ 39^m\ 33.62^s$	$-05°\ 21'\ 22.8''$	0.009

Tabelle 6.2: *(Fortsetzung) IAU-Name, Position und Rotverschiebung für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	Position (2000)		z
	R.A.	Dekl.	
1253−055	$12^h\,56^m\,05.29^s$	$-05°\,48'\,00.9''$	0.538
1307+085	$13^h\,09^m\,40.63^s$	$+08°\,19'\,14.9''$	0.155
1333−340	$13^h\,35^m\,48.36^s$	$-34°\,18'\,21.2''$	0.008
1346−300	$13^h\,49^m\,14.05^s$	$-30°\,19'\,04.4''$	0.016
1351+695	$13^h\,52^m\,53.24^s$	$+69°\,17'\,50.3''$	0.031
1353+388	$13^h\,55^m\,45.64^s$	$+38°\,33'\,34.5''$	0.051
1415+253	$14^h\,17^m\,50.81^s$	$+25°\,07'\,30.0''$	0.017
1416−129	$14^h\,18^m\,57.64^s$	$-13°\,11'\,08.5''$	0.129
1426+015	$14^h\,28^m\,59.41^s$	$+01°\,16'\,42.8''$	0.086
1501+106	$15^h\,03^m\,53.14^s$	$+10°\,25'\,52.5''$	0.036
1510−089	$15^h\,12^m\,43.79^s$	$-09°\,06'\,16.4''$	0.360
1534+580	$15^h\,35^m\,41.44^s$	$+57°\,53'\,36.4''$	0.030
1615+061	$16^h\,17^m\,45.34^s$	$+06°\,04'\,07.4''$	0.038
1641+399	$16^h\,42^m\,48.72^s$	$+39°\,48'\,20.6''$	0.594
1720+309	$17^h\,22^m\,30.50^s$	$+30°\,52'\,50.3''$	0.043
1721+343	$17^h\,23^m\,11.08^s$	$+34°\,17'\,54.7''$	0.206
1821+643	$18^h\,21^m\,43.71^s$	$+64°\,20'\,43.7''$	0.297
1845+797	$18^h\,41^m\,46.23^s$	$+79°\,46'\,28.9''$	0.057
1916−587	$19^h\,21^m\,10.75^s$	$-58°\,39'\,46.7''$	0.037
1928+738	$19^h\,27^m\,32.22^s$	$+73°\,58'\,23.2''$	0.303
1939−104	$19^h\,42^m\,33.80^s$	$-10°\,18'\,46.5''$	0.006
2041−109	$20^h\,44^m\,02.83^s$	$-10°\,42'\,33.9''$	0.035
2126−158	$21^h\,29^m\,05.31^s$	$-15°\,37'\,45.6''$	3.266
2130+099	$21^h\,32^m\,20.85^s$	$+10°\,09'\,15.1''$	0.063
2135−147	$21^h\,37^m\,38.43^s$	$-14°\,31'\,57.7''$	0.200
2141+175	$21^h\,43^m\,28.48^s$	$+17°\,44'\,44.3''$	0.213
2201+315	$22^h\,03^m\,07.83^s$	$+31°\,46'\,31.8''$	0.298
2206−474	$22^h\,09^m\,09.66^s$	$-47°\,09'\,16.9''$	0.006
2221−023	$22^h\,23^m\,43.08^s$	$-02°\,05'\,10.7''$	0.057
2223−052	$22^h\,25^m\,40.58^s$	$-04°\,55'\,57.7''$	1.404
2251+158	$22^h\,53^m\,51.46^s$	$+16°\,09'\,51.2''$	0.859
2251−178	$22^h\,53^m\,58.96^s$	$-17°\,33'\,50.1''$	0.068
2300+086	$23^h\,03^m\,09.42^s$	$+08°\,53'\,25.9''$	0.017
2302−089	$23^h\,04^m\,37.05^s$	$-08°\,40'\,03.3''$	0.047

Tabelle 6.3: *IAU-Name, Mittlerer Spektralindex im Energieband 2 − 20 keV, Radioleuchtkraftdichte, optische Leuchtkraftdichte und Breitbandspketralindex α_{ro} für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	α_{2-20}	$\log l_r$ [log(erg s^{-1} Hz^{-1})]	$\log l_o$ [log(erg s^{-1} Hz^{-1})]	α_{ro}
0007+106	$0.77^{+0.19}_{-0.10}$	32.13 ± 0.26	29.98 ± 0.20	0.40 ± 0.06
0014+813	$0.71^{+0.31}_{-0.30}$	35.74 ± 0.17	33.41 ± 0.20	0.43 ± 0.05
0026+129	$0.92^{+0.19}_{-0.15}$		30.35 ± 0.20	
0057+315	$0.91^{+0.18}_{-0.11}$		28.62 ± 0.20	
0111−151	$0.88^{+0.09}_{-0.09}$		29.54 ± 0.20	
0121−590	$0.93^{+0.05}_{-0.04}$		29.99 ± 0.20	
0133+207	$1.40^{+0.40}_{-0.40}$	34.12 ± 0.03	30.31 ± 0.20	0.71 ± 0.04
0212−009	$0.47^{+0.48}_{-0.18}$		29.47 ± 0.20	
0232−090	$0.96^{+1.06}_{-0.84}$		29.69 ± 0.20	
0236−524	$0.83^{+0.07}_{-0.03}$		29.54 ± 0.20	
0333+321	$0.71^{+0.19}_{-0.15}$	35.38 ± 0.02	31.95 ± 0.20	0.64 ± 0.04
0415+379	$0.52^{+0.17}_{-0.13}$	32.78 ± 0.06	29.07 ± 0.20	0.69 ± 0.04
0418−550	$0.48^{+0.09}_{-0.09}$	28.79 ± 0.28	28.60 ± 0.20	0.04 ± 0.06
0430+052	$0.69^{+0.03}_{-0.03}$	32.52 ± 0.23	29.38 ± 0.20	0.58 ± 0.06
0513−002	$0.90^{+0.05}_{-0.05}$		29.74 ± 0.20	
0518−458	$0.86^{+0.28}_{-0.18}$	32.90 ± 0.02	28.90 ± 0.20	0.74 ± 0.04
0637−752	$0.68^{+0.38}_{-0.23}$	35.02 ± 0.05	31.79 ± 0.20	0.60 ± 0.04
0738+499	$0.75^{+0.09}_{-0.06}$		29.26 ± 0.20	
0804+761	$1.05^{+0.21}_{-0.13}$		30.09 ± 0.20	
0951+693	$1.40^{+0.13}_{-0.25}$			
1020+201	$0.77^{+0.19}_{-0.12}$	28.24 ± 0.39	28.48 ± 0.20	-0.05 ± 0.08
1028+313	$0.96^{+0.06}_{-0.06}$	32.39 ± 0.31	29.95 ± 0.20	0.45 ± 0.07
1103+728	$0.80^{+0.19}_{-0.24}$		29.06 ± 0.20	
1121+423	$0.70^{+0.50}_{-0.50}$		30.49 ± 0.20	
1122+546	$0.70^{+0.54}_{-0.49}$		28.24 ± 0.20	
1136−374	$-0.01^{+0.05}_{-0.04}$		28.96 ± 0.20	
1137+660	$0.90^{+0.17}_{-0.17}$	34.49 ± 0.03	31.31 ± 0.20	0.59 ± 0.04
1159−036	$0.90^{+0.20}_{-0.20}$	33.89 ± 0.37	30.73 ± 0.20	0.59 ± 0.08
1200+448	$0.85^{+0.04}_{-0.03}$	27.74 ± 0.18	27.94 ± 0.20	-0.04 ± 0.05
1208+396	$0.56^{+0.04}_{-0.04}$	28.76 ± 0.42	28.38 ± 0.20	0.07 ± 0.09
1215+300	$0.93^{+0.04}_{-0.04}$	28.97 ± 0.35	28.75 ± 0.20	0.04 ± 0.08
1219+755	$1.05^{+0.22}_{-0.16}$		29.88 ± 0.20	
1226+023	$0.48^{+0.01}_{-0.01}$	34.64 ± 0.06	31.38 ± 0.20	0.61 ± 0.04
1237−050	$0.59^{+0.20}_{-0.07}$		29.05 ± 0.20	

Tabelle 6.3: *(Fortsetzung) IAU-Name, Mittlerer Spektralindex im Energieband 2 − 20 keV, Radioleuchtkraftdichte, optische Leuchtkraftdichte und Breitbandspketral-index α_{ro} für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	α_{2-20}	$\log l_r$ [log(erg s^{-1} Hz^{-1})]	$\log l_o$ [log(erg s^{-1} Hz^{-1})]	α_{ro}
1253−055	$0.66\,^{+0.02}_{-0.02}$	35.22 ± 0.02	30.66 ± 0.20	0.85 ± 0.04
1307+085	$1.26\,^{+0.37}_{-0.28}$		30.40 ± 0.20	
1333−340	$0.85\,^{+0.03}_{-0.02}$		28.50 ± 0.20	
1346−300	$0.83\,^{+0.02}_{-0.02}$		29.05 ± 0.20	
1351+695	$0.83\,^{+0.10}_{-0.10}$		29.27 ± 0.20	
1353+388	$0.33\,^{+0.06}_{-0.04}$		29.21 ± 0.20	
1415+253	$0.53\,^{+0.02}_{-0.02}$	29.28 ± 0.32	29.15 ± 0.20	0.02 ± 0.07
1416−129	$0.37\,^{+0.44}_{-0.17}$		30.33 ± 0.20	
1426+015	$0.90\,^{+0.26}_{-0.17}$		30.03 ± 0.20	
1501+106	$0.42\,^{+0.08}_{-0.08}$		29.57 ± 0.20	
1510−089	$0.64\,^{+0.52}_{-0.24}$	34.25 ± 0.05	30.79 ± 0.20	0.64 ± 0.04
1534+580	$0.73\,^{+0.19}_{-0.09}$		29.03 ± 0.20	
1615+061	$0.60\,^{+0.30}_{-0.30}$		35.34 ± 0.04	
1641+399	$0.40\,^{+0.36}_{-0.16}$	35.04 ± 0.07	31.35 ± 0.20	0.69 ± 0.04
1720+309	$0.30\,^{+0.78}_{-0.38}$		29.45 ± 0.20	
1721+343	$0.64\,^{+0.11}_{-0.09}$	33.11 ± 0.07	30.10 ± 0.20	0.56 ± 0.04
1821+643	$0.84\,^{+0.04}_{-0.02}$		31.50 ± 0.20	
1845+797	$0.57\,^{+0.06}_{-0.04}$	32.80 ± 0.02	29.53 ± 0.20	0.61 ± 0.04
1916−587	$0.90\,^{+0.05}_{-0.03}$		29.75 ± 0.20	
1928+738	$1.85\,^{+0.41}_{-0.32}$	34.14 ± 0.02	30.97 ± 0.20	0.59 ± 0.04
1939−104	$0.45\,^{+0.03}_{-0.02}$		28.61 ± 0.20	
2041−109	$0.78\,^{+0.02}_{-0.01}$		30.05 ± 0.20	
2126−158	$-0.68\,^{+0.09}_{-0.09}$	35.90 ± 0.08	32.84 ± 0.20	0.57 ± 0.04
2130+099	$0.88\,^{+0.21}_{-0.11}$		29.92 ± 0.20	
2135−147	$0.61\,^{+0.12}_{-0.12}$	33.44 ± 0.03	30.64 ± 0.20	0.52 ± 0.04
2141+175	$0.60\,^{+0.70}_{-0.60}$	33.17 ± 0.15	30.72 ± 0.20	0.46 ± 0.05
2201+315	$0.73\,^{+0.34}_{-0.26}$	33.97 ± 0.04	31.06 ± 0.20	0.54 ± 0.04
2206−474	$0.86\,^{+0.10}_{-0.10}$	29.55 ± 0.31	29.07 ± 0.20	0.09 ± 0.07
2221−023	$0.68\,^{+0.24}_{-0.21}$	32.44 ± 0.08	29.39 ± 0.20	0.57 ± 0.04
2223−052	$0.94\,^{+0.12}_{-0.11}$	35.68 ± 0.04	31.51 ± 0.20	0.77 ± 0.04
2251+158	$1.46\,^{+0.06}_{-0.06}$	35.61 ± 0.08	31.84 ± 0.20	0.70 ± 0.04
2251−178	$0.54\,^{+0.03}_{-0.03}$		30.06 ± 0.20	
2300+086	$0.92\,^{+0.06}_{-0.03}$	29.97 ± 0.62	29.43 ± 0.20	0.10 ± 0.12
2302−089	$0.61\,^{+0.04}_{-0.02}$		29.84 ± 0.20	

Tabelle 6.4: *IAU-Name, ROSAT Observation Request-Nummer, Datum des Beobachtungsende, Beobachtungsdauer, off-axis-Winkel, Quellcounts, Signal-zu-Rausch-Verhältnis, Bins für die Energiekanäle* 11 − 240 *und Bins unterhalb* 0.5 *keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	ROR Nr.	Datum	Dauer [s]	off-axis [']	Quellcounts	S/R	Bins alle	Bins < 0.5 keV
0007+106	701092p	11.07.92	9117	1.40	2641 ± 51	12	17	1
0014+813	700083p	17.03.91	5951	0.71	450 ± 25	7	9	1
0026+129	701456p	24.06.93	2727	1.62	1121 ± 34	9	13	3
0057+315	701087p	18.07.92	4420	1.28	399 ± 21	6	9	1
0111−151	701014p	11.07.92	3223	1.77	5844 ± 77	15	23	11
0121−590	700132p	11.05.91	8173	1.25	30771 ± 177	30	30	13
0133+207	700069p	01.02.92	5105	1.37	559 ± 25	7	10	2
0212−009	701229p	14.01.93	3484	1.79	17314 ± 132	30	18	8
0232−090	701599p	10.08.93	6194	1.90	7555 ± 87	20	18	8
0236−524	701356p	21.07.93	23566	10.28	37311 ± 194	40	22	8
0333+321	700840p	08.08.92	4039	1.14	952 ± 33	9	8	1
0415+379	700062p-1	13.02.93	2322	1.03	938 ± 31	9	11	1
0418−550	600456p	29.09.92	17808	1.60	4628 ± 70	15	18	8
0430+052	700916p	02.09.93	3175	1.85	6676 ± 82	20	16	1
0513−002	701093p	08.09.92	8806	1.85	1276 ± 113	25	19	2
0518−458	700057p	20.02.91	4459	1.81	3515 ± 60	15	15	3
0637−752	700790p	27.05.92	1357	1.11	274 ± 17	5	9	1
0738+499	701598p	28.09.93	2694	0.83	4994 ± 71	20	12	2
0804+761	700470p	25.04.92	3767	0.03	4473 ± 67	14	21	9
0951+693	600382p	03.10.92	28350	0.94	19152 ± 140	25	28	4
1020+201	700996p	19.05.93	19562	1.91	9319 ± 97	20	22	2
1028+313	700433p	02.05.92	2481	1.98	1236 ± 35	9	14	7
1103+728	700872p	04.10.92	13081	0.90	58898 ± 244	40	33	12
1121+423	700880p	08.06.93	6418	1.50	1591 ± 41	9	16	11
1122+546	700499p	03.12.91	8825	1.20	3610 ± 61	13	19	8
1136−374	701357p	09.07.93	23344	11.87	36057 ± 193	35	27	3
1137+660	700068p	22.11.91	1808	0.95	580 ± 25	7	10	6
1159−036	701202p	04.07.92	13563	19.67	234 ± 23	5	7	1
1200+448	700557p	16.11.91	28727	0.95	44719 ± 224	35	28	18
1208+396	700277p	01.06.91	38127	1.48	21578 ± 153	25	29	12
1215+300	701091p	10.12.92	6774	0.03	23311 ± 153	30	23	12
1219+755	700434p	15.04.92	14321	0.81	14213 ± 122	25	20	8
1226+023	700191p	15.12.91	6243	1.50	38206 ± 198	40	21	9
1237−050	701012p	14.07.92	1261	1.59	1764 ± 42	9	19	8

Tabelle 6.4: *(Fortsetzung) IAU-Name, ROSAT Observation Request-Nummer, Datum des Beobachtungsende, Beobachtungsdauer, off-axis-Winkel, Quellcounts, Signal-zu-Rausch-Verhältnis, Bins für die Energiekanäle* 11 − 240 *und Bins unterhalb* 0.5 *keV für die 68 in dieser Arbeit berücksichtigten Quellen.*

IAU-Name	ROR Nr.	Datum	Dauer [s]	off-axis [']	Quellcounts	S/R	Bins alle	Bins < 0.5 keV
1253−055	700305p	03.01.92	4925	1.60	2497 ± 52	9	26	8
1307+085	700229p	19.07.92	7685	1.68	4029 ± 65	14	18	10
1333−340	700293p	01.02.92	8513	3.74	16434 ± 132	25	24	5
1346−300	700907p	14.01.93	8230	1.20	22647 ± 151	30	23	1
1351+695	701424p	07.10.93	9625	1.10	43835 ± 211	35	28	14
1353+388	700144p	16.12.91	2409	1.80	835 ± 30	9	9	3
1415+253	150071p	23.07.90	18861	2.09	33317 ± 184	30	32	14
1416−129	700527p	29.01.92	9109	1.70	3448 ± 61	12	21	2
1426+015	150007p	19.07.90	6485	1.84	9687 ± 99	20	22	10
1501+106	700257p	26.01.92	17185	2.07	35743 ± 195	33	27	13
1510−089	700854p	17.08.92	5153	1.67	945 ± 33	9	9	1
1534+580	701150p	21.08.92	3876	1.55	3338 ± 59	12	21	10
1615+061	700213p	20.02.91	10093	0.11	6174 ± 79	20	15	4
1641+399	700869p	01.09.92	4219	1.96	2089 ± 47	9	21	9
1720+309	701086p	28.09.92	1922	1.79	803 ± 29	7	15	5
1721+343	701520p	30.09.93	668	2.19	656 ± 26	7	12	5
1821+643	700948p	12.04.93	1980	1.63	2584 ± 51	10	23	9
1845+797	700058p	30.03.91	11516	0.99	11884 ± 110	20	27	3
1916−587	700104p	15.03.91	5021	0.60	9891 ± 100	20	23	5
1928+738	700142p	15.03.91	8376	1.11	2351 ± 50	10	21	1
1939−104	700923p	02.04.93	38244	1.81	2261 ± 53	13	12	1
2041−109	701362p	02.11.93	3322	1.76	14936 ± 123	25	22	7
2126−158	700868p-1	21.05.93	4160	2.02	705 ± 27	7	14	1
2130+099	701252p	05.06.93	8627	2.12	9689 ± 100	20	22	9
2135−147	701542p	15.11.93	3249	2.03	2529 ± 51	14	12	4
2141+175	201222p	09.06.93	8398	28.06	302 ± 20	5	8	1
2201+315	701396p	05.12.93	3311	1.66	555 ± 25	7	9	1
2206−474	700131p	11.05.91	6688	1.86	35976 ± 191	35	27	12
2221−023	701018p	09.06.93	11344	8.04	296 ± 22	6	7	1
2223−052	900337p	24.05.93	15626	2.09	1370 ± 40	9	14	2
2251+158	900339p	18.12.92	22156	1.67	7670 ± 90	18	22	1
2251−178	701630p	16.11.93	18317	1.71	55814 ± 239	40	31	13
2300+086	700423p	31.05.92	18575	1.73	31909 ± 180	35	25	5
2302−089	701250p	25.05.93	18767	1.81	16833 ± 132	25	25	7

Tabelle 6.5: *Ergebnisse der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und* $N_{\mathrm{H,gal}}$.

IAU-Name	$N_{\mathrm{H,gal}}$ $[10^{20}\,\mathrm{cm}^{-2}]$	$I_{1\mathrm{keV,gal}}$ $[10^{-3}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}\mathrm{keV}^{-1}]$	$\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$	$\chi^2_{red,\mathrm{gal}}$	d.o.f.
0007+106	6.09 ± 0.19	$1.60^{+0.05}_{-0.05}$	$0.73^{+0.07}_{-0.06}$	2.58	15
0014+813	13.89 ± 0.63	$0.49^{+0.04}_{-0.04}$	$0.57^{+0.27}_{-0.28}$	0.47	7
0026+129	4.93 ± 0.16	$1.94^{+0.10}_{-0.10}$	$1.21^{+0.08}_{-0.09}$	0.42	11
0057+315	5.49 ± 0.63	$0.48^{+0.04}_{-0.04}$	$0.78^{+0.18}_{-0.20}$	0.75	7
0111−151	1.67 ± 0.06	$4.21^{+0.13}_{-0.13}$	$1.29^{+0.03}_{-0.03}$	1.33	21
0121−590	2.71 ± 0.63	$11.39^{+0.13}_{-0.14}$	$1.36^{+0.01}_{-0.01}$	2.35	28
0133+207	5.80 ± 0.63	$0.53^{+0.04}_{-0.04}$	$1.29^{+0.15}_{-0.18}$	2.36	8
0212−009	3.07 ± 0.09	$14.62^{+0.24}_{-0.24}$	$1.55^{+0.02}_{-0.02}$	1.27	16
0232−090	3.13 ± 0.63	$3.53^{+0.09}_{-0.09}$	$1.54^{+0.03}_{-0.03}$	7.55	16
0236−524	3.30 ± 0.63	$5.82^{+0.06}_{-0.06}$	$1.37^{+0.01}_{-0.01}$	2.44	20
0333+321	14.22 ± 0.44	$1.65^{+0.10}_{-0.10}$	$0.12^{+0.19}_{-0.20}$	2.12	6
0415+379	32.61 ± 1.02	$2.93^{+0.24}_{-0.24}$	$-1.08^{+0.21}_{-0.21}$	1.18	9
0418−550	1.79 ± 0.63	$0.70^{+0.02}_{-0.02}$	$1.16^{+0.03}_{-0.03}$	0.68	16
0430+052	12.32 ± 0.39	$14.90^{+0.28}_{-0.28}$	$0.99^{+0.06}_{-0.06}$	2.58	14
0513−002	9.63 ± 0.63	$9.37^{+0.13}_{-0.13}$	$1.27^{+0.04}_{-0.04}$	1.42	17
0518−458	3.90 ± 0.63	$3.74^{+0.10}_{-0.10}$	$0.72^{+0.05}_{-0.04}$	2.09	13
0637−752	10.86 ± 0.63	$1.34^{+0.13}_{-0.13}$	$1.37^{+0.28}_{-0.31}$	0.35	7
0738+499	5.89 ± 0.18	$9.70^{+0.22}_{-0.22}$	$1.21^{+0.04}_{-0.04}$	5.09	10
0804+761	3.12 ± 0.10	$3.83^{+0.12}_{-0.12}$	$1.43^{+0.03}_{-0.03}$	1.17	19
0951+693	4.31 ± 0.63	$3.34^{+0.04}_{-0.04}$	$0.69^{+0.02}_{-0.02}$	14.23	26
1020+201	2.22 ± 0.63	$2.18^{+0.03}_{-0.03}$	$-0.22^{+0.03}_{-0.03}$	8.89	20
1028+313	1.98 ± 0.06	$1.27^{+0.08}_{-0.08}$	$1.29^{+0.06}_{-0.06}$	1.94	12
1103+728	3.15 ± 0.63	$15.88^{+0.13}_{-0.13}$	$1.27^{+0.01}_{-0.01}$	20.62	31
1121+423	2.33 ± 0.08	$0.37^{+0.03}_{-0.03}$	$2.02^{+0.07}_{-0.07}$	2.66	14
1122+546	0.99 ± 0.63	$1.26^{+0.04}_{-0.04}$	$0.58^{+0.03}_{-0.03}$	2.22	17
1136−374	8.42 ± 0.63	$9.17^{+0.08}_{-0.08}$	$1.50^{+0.02}_{-0.02}$	89.71	25
1137+660	0.82 ± 0.06	$0.58^{+0.06}_{-0.06}$	$1.16^{+0.09}_{-0.09}$	0.49	8
1159−036	2.34 ± 0.63	$0.08^{+0.01}_{-0.01}$	$0.62^{+0.27}_{-0.35}$	1.40	5
1200+448	1.31 ± 0.06	$2.28^{+0.03}_{-0.03}$	$1.61^{+0.01}_{-0.01}$	8.36	26
1208+396	1.80 ± 0.63	$1.58^{+0.02}_{-0.02}$	$1.07^{+0.01}_{-0.01}$	21.07	27
1215+300	1.92 ± 0.63	$8.27^{+0.12}_{-0.13}$	$1.35^{+0.01}_{-0.01}$	10.89	21
1219+755	2.74 ± 0.09	$3.40^{+0.05}_{-0.06}$	$1.18^{+0.02}_{-0.02}$	2.54	18
1226+023	1.83 ± 0.63	$18.59^{+0.20}_{-0.19}$	$1.00^{+0.01}_{-0.01}$	4.15	19
1237−050	1.97 ± 0.06	$4.23^{+0.20}_{-0.20}$	$1.05^{+0.05}_{-0.05}$	0.85	17

Tabelle 6.5: *(Fortsetzung) Ergebnisse der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und* $N_{\mathrm{H,gal}}$.

IAU-Name	$N_{\mathrm{H,gal}}$ [10^{20} cm^{-2}]	$I_{1\mathrm{keV,gal}}$ [10^{-3}cm^{-2}s^{-1}keV^{-1}]	$\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$	$\chi^2_{red,\mathrm{gal}}$	d.o.f.
1253−055	2.22 ± 0.07	$1.82^{+0.07}_{-0.07}$	$0.85^{+0.05}_{-0.05}$	1.16	24
1307+085	2.20 ± 0.07	$1.09^{+0.04}_{-0.04}$	$1.63^{+0.04}_{-0.04}$	2.38	16
1333−340	4.06 ± 0.13	$8.57^{+0.11}_{-0.12}$	$1.01^{+0.02}_{-0.02}$	16.52	22
1346−300	4.55 ± 0.14	$13.32^{+0.15}_{-0.15}$	$-0.75^{+0.03}_{-0.03}$	13.65	21
1351+695	1.64 ± 0.06	$10.30^{+0.12}_{-0.12}$	$1.32^{+0.01}_{-0.01}$	1.95	26
1353+388	9.86 ± 0.63	$1.12^{+0.13}_{-0.13}$	$3.22^{+0.20}_{-0.19}$	17.91	7
1415+253	1.80 ± 0.63	$4.64^{+0.06}_{-0.06}$	$1.13^{+0.01}_{-0.01}$	9.54	30
1416−129	7.20 ± 0.22	$2.15^{+0.06}_{-0.06}$	$1.19^{+0.06}_{-0.07}$	0.61	19
1426+015	2.64 ± 0.08	$3.79^{+0.09}_{-0.09}$	$1.53^{+0.02}_{-0.02}$	1.68	20
1501+106	2.23 ± 0.07	$5.34^{+0.07}_{-0.06}$	$1.41^{+0.01}_{-0.01}$	2.64	25
1510−089	6.73 ± 0.63	$1.06^{+0.05}_{-0.06}$	$0.76^{+0.14}_{-0.14}$	1.41	7
1534+580	2.32 ± 0.08	$2.49^{+0.09}_{-0.09}$	$1.27^{+0.04}_{-0.04}$	1.82	19
1615+061	4.81 ± 0.63	$2.54^{+0.06}_{-0.06}$	$1.50^{+0.03}_{-0.04}$	6.09	13
1641+399	0.74 ± 0.06	$1.32^{+0.06}_{-0.06}$	$0.68^{+0.04}_{-0.04}$	1.12	19
1720+309	3.23 ± 0.63	$1.55^{+0.11}_{-0.11}$	$1.19^{+0.09}_{-0.09}$	1.35	13
1721+343	3.06 ± 0.09	$3.36^{+0.26}_{-0.26}$	$1.30^{+0.09}_{-0.09}$	0.32	10
1821+643	4.15 ± 0.63	$4.75^{+0.19}_{-0.19}$	$1.54^{+0.05}_{-0.05}$	3.84	21
1845+797	4.34 ± 0.63	$5.25^{+0.07}_{-0.08}$	$0.48^{+0.03}_{-0.03}$	4.89	25
1916−587	5.88 ± 0.63	$9.53^{+0.17}_{-0.17}$	$1.47^{+0.03}_{-0.03}$	1.26	21
1928+738	7.45 ± 0.63	$1.67^{+0.05}_{-0.05}$	$0.77^{+0.08}_{-0.08}$	1.37	19
1939−104	9.80 ± 0.31	$0.39^{+0.01}_{-0.01}$	$0.55^{+0.12}_{-0.12}$	0.26	10
2041−109	4.87 ± 0.63	$17.67^{+0.28}_{-0.28}$	$1.68^{+0.02}_{-0.02}$	3.35	20
2126−158	4.85 ± 0.15	$0.89^{+0.05}_{-0.05}$	$0.20^{+0.14}_{-0.15}$	1.27	12
2130+099	4.20 ± 0.13	$3.45^{+0.08}_{-0.08}$	$1.90^{+0.02}_{-0.02}$	1.31	20
2135−147	4.45 ± 0.14	$3.26^{+0.12}_{-0.12}$	$1.40^{+0.05}_{-0.05}$	0.90	10
2141+175	7.96 ± 0.63	$0.27^{+0.03}_{-0.03}$	$1.24^{+0.29}_{-0.34}$	0.44	6
2201+315	9.91 ± 0.31	$1.09^{+0.07}_{-0.07}$	$1.19^{+0.19}_{-0.19}$	0.41	7
2206−474	3.05 ± 0.63	$16.03^{+0.19}_{-0.18}$	$1.50^{+0.01}_{-0.01}$	22.16	25
2221−023	5.12 ± 0.63	$0.13^{+0.01}_{-0.01}$	$0.36^{+0.40}_{-0.48}$	1.64	5
2223−052	5.26 ± 0.16	$0.46^{+0.02}_{-0.02}$	$0.81^{+0.10}_{-0.11}$	2.64	12
2251+158	7.13 ± 0.22	$2.07^{+0.04}_{-0.04}$	$0.54^{+0.05}_{-0.05}$	1.56	20
2251−178	2.84 ± 0.09	$9.78^{+0.09}_{-0.08}$	$1.33^{+0.01}_{-0.01}$	8.76	29
2300+086	4.82 ± 0.15	$8.33^{+0.08}_{-0.08}$	$1.05^{+0.02}_{-0.01}$	6.02	23
2302−089	3.55 ± 0.63	$3.63^{+0.05}_{-0.05}$	$1.14^{+0.02}_{-0.02}$	1.65	23

Tabelle 6.6: *Ergebnisse der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

IAU-Name	$N_{\mathrm{H,frei}}$ $[10^{20}\ \mathrm{cm}^{-2}]$	$I_{1\mathrm{keV,frei}}$ $[10^{-3}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}\mathrm{keV}^{-1}]$	$\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}$	$\chi^2_{red,\mathrm{frei}}$	d.o.f.
0007+106	$8.33^{+1.17}_{-1.02}$	$1.76^{+0.10}_{-0.09}$	$1.11^{+0.18}_{-0.18}$	1.35	14
0014+813	$23.33^{+32.5}_{-16.7}$	$0.65^{+0.92}_{-0.27}$	$1.07^{+1.62}_{-1.06}$	0.45	6
0026+129	$5.14^{+1.05}_{-0.94}$	$1.96^{+0.15}_{-0.14}$	$1.27^{+0.27}_{-0.26}$	0.44	10
0057+315	$4.53^{+3.44}_{-2.25}$	$0.46^{+0.09}_{-0.07}$	$0.62^{+0.56}_{-0.51}$	0.81	6
0111−151	$1.70^{+0.27}_{-0.23}$	$4.21^{+0.17}_{-0.16}$	$1.31^{+0.11}_{-0.11}$	1.39	20
0121−590	$2.96^{+0.13}_{-0.14}$	$11.47^{+0.17}_{-0.18}$	$1.45^{+0.05}_{-0.05}$	2.00	27
0133+207	$4.23^{+1.49}_{-1.32}$	$0.50^{+0.05}_{-0.05}$	$0.94^{+0.38}_{-0.37}$	2.15	7
0212−009	$2.91^{+0.19}_{-0.18}$	$14.57^{+0.30}_{-0.30}$	$1.49^{+0.07}_{-0.07}$	1.19	15
0232−090	$3.56^{+0.30}_{-0.31}$	$3.54^{+0.12}_{-0.11}$	$1.70^{+0.11}_{-0.12}$	7.58	15
0236−524	$3.07^{+0.13}_{-0.13}$	$5.79^{+0.08}_{-0.08}$	$1.29^{+0.04}_{-0.05}$	2.01	19
0333+321	$21.21^{+20.9}_{-13.7}$	$2.01^{+1.56}_{-0.68}$	$0.47^{+1.03}_{-0.77}$	2.42	5
0415+379	$71.30^{+43.2}_{-33.5}$	$7.41^{+12.3}_{-4.09}$	$0.24^{+1.40}_{-1.17}$	0.72	8
0418−550	$1.83^{+0.34}_{-0.30}$	$0.70^{+0.03}_{-0.03}$	$1.18^{+0.13}_{-0.12}$	0.72	15
0430+052	$19.29^{+4.51}_{-3.64}$	$18.53^{+2.66}_{-1.98}$	$1.47^{+0.28}_{-0.25}$	1.32	13
0513−002	$10.04^{+0.60}_{-0.55}$	$9.51^{+0.25}_{-0.24}$	$1.32^{+0.08}_{-0.08}$	1.39	16
0518−458	$4.81^{+0.59}_{-0.55}$	$3.91^{+0.17}_{-0.16}$	$0.94^{+0.15}_{-0.14}$	1.46	12
0637−752	$10.12^{+18.0}_{-4.72}$	$1.31^{+0.94}_{-0.27}$	$1.29^{+1.25}_{-0.69}$	0.40	6
0738+499	$7.67^{+0.57}_{-0.55}$	$10.38^{+0.36}_{-0.35}$	$1.60^{+0.13}_{-0.13}$	1.23	9
0804+761	$3.67^{+0.41}_{-0.40}$	$3.89^{+0.15}_{-0.15}$	$1.61^{+0.14}_{-0.14}$	0.87	18
0951+693	$6.77^{+0.29}_{-0.27}$	$3.76^{+0.07}_{-0.07}$	$1.21^{+0.06}_{-0.06}$	1.18	25
1020+201	$4.30^{+0.39}_{-0.38}$	$2.47^{+0.07}_{-0.07}$	$0.25^{+0.09}_{-0.09}$	2.51	19
1028+313	$1.95^{+0.54}_{-0.53}$	$1.27^{+0.10}_{-0.10}$	$1.27^{+0.23}_{-0.24}$	2.11	11
1103+728	$2.81^{+0.09}_{-0.12}$	$15.74^{+0.16}_{-0.17}$	$1.16^{+0.03}_{-0.04}$	20.04	30
1121+423	$2.28^{+0.69}_{-0.59}$	$0.37^{+0.04}_{-0.04}$	$2.00^{+0.30}_{-0.28}$	2.87	13
1122+546	$1.35^{+0.31}_{-0.29}$	$1.28^{+0.05}_{-0.05}$	$0.72^{+0.12}_{-0.13}$	2.01	16
1136−374	$9.19^{+0.26}_{-0.34}$	$9.36^{+0.12}_{-0.13}$	$1.66^{+0.06}_{-0.08}$	92.53	24
1137+660	$1.19^{+0.82}_{-0.62}$	$0.58^{+0.08}_{-0.08}$	$1.34^{+0.38}_{-0.32}$	0.40	7
1159−036	$0.37^{+2.12}_{-0.20}$	$0.07^{+0.02}_{-0.01}$	$0.04^{+0.70}_{-0.41}$	0.96	4
1200+448	$1.72^{+0.10}_{-0.10}$	$2.28^{+0.04}_{-0.04}$	$1.80^{+0.05}_{-0.05}$	5.98	25
1208+396	$2.79^{+0.18}_{-0.20}$	$1.63^{+0.03}_{-0.03}$	$1.44^{+0.07}_{-0.08}$	17.58	26
1215+300	$2.85^{+0.18}_{-0.17}$	$8.46^{+0.17}_{-0.16}$	$1.71^{+0.07}_{-0.06}$	5.26	20
1219+755	$3.31^{+0.23}_{-0.22}$	$3.46^{+0.08}_{-0.08}$	$1.37^{+0.08}_{-0.08}$	1.27	17
1226+023	$1.60^{+0.09}_{-0.10}$	$18.44^{+0.24}_{-0.25}$	$0.91^{+0.04}_{-0.04}$	3.29	18
1237−050	$2.19^{+0.57}_{-0.51}$	$4.26^{+0.27}_{-0.27}$	$1.13^{+0.21}_{-0.20}$	0.86	16

Tabelle 6.6: *(Fortsetzung) Ergebnisse der Fits mit einem einfachen Potenzgesetz und* $N_{\mathrm{H,frei}}$.

IAU-Name	$N_{\mathrm{H,frei}}$ $[10^{20}\,\mathrm{cm}^{-2}]$	$I_{1\mathrm{keV,frei}}$ $[10^{-3}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}\mathrm{keV}^{-1}]$	$\alpha_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}$	$\chi^2_{red,\mathrm{frei}}$	d.o.f.
1253−055	$2.39^{+0.53}_{-0.47}$	$1.84^{+0.10}_{-0.09}$	$0.91^{+0.18}_{-0.17}$	1.19	23
1307+085	$2.18^{+0.36}_{-0.35}$	$1.09^{+0.06}_{-0.06}$	$1.62^{+0.15}_{-0.15}$	2.53	15
1333−340	$4.81^{+0.27}_{-0.28}$	$8.82^{+0.17}_{-0.17}$	$1.22^{+0.08}_{-0.08}$	16.03	21
1346−300	$21.90^{+3.65}_{-3.39}$	$22.90^{+2.46}_{-2.09}$	$0.24^{+0.18}_{-0.17}$	1.61	20
1351+695	$1.73^{+0.10}_{-0.09}$	$10.32^{+0.15}_{-0.15}$	$1.36^{+0.04}_{-0.04}$	1.89	25
1353+388	$2.73^{+0.92}_{-0.86}$	$1.22^{+0.11}_{-0.11}$	$1.10^{+0.32}_{-0.32}$	1.48	6
1415+253	$1.37^{+0.08}_{-0.11}$	$4.61^{+0.07}_{-0.07}$	$0.95^{+0.04}_{-0.05}$	7.40	29
1416−129	$7.29^{+0.85}_{-0.76}$	$2.16^{+0.10}_{-0.10}$	$1.21^{+0.16}_{-0.15}$	0.65	18
1426+015	$2.39^{+0.22}_{-0.22}$	$3.78^{+0.11}_{-0.11}$	$1.44^{+0.09}_{-0.09}$	1.54	19
1501+106	$2.15^{+0.11}_{-0.12}$	$5.33^{+0.08}_{-0.08}$	$1.38^{+0.05}_{-0.05}$	2.68	24
1510−089	$8.23^{+6.56}_{-3.11}$	$1.13^{+0.28}_{-0.16}$	$0.93^{+0.55}_{-0.42}$	1.54	6
1534+580	$2.03^{+0.42}_{-0.38}$	$2.47^{+0.12}_{-0.12}$	$1.16^{+0.16}_{-0.16}$	1.83	18
1615+061	$3.35^{+0.37}_{-0.34}$	$2.44^{+0.08}_{-0.08}$	$1.08^{+0.11}_{-0.11}$	2.29	12
1641+399	$1.38^{+0.43}_{-0.42}$	$1.36^{+0.08}_{-0.08}$	$0.95^{+0.18}_{-0.18}$	0.67	18
1720+309	$2.75^{+0.95}_{-0.86}$	$1.52^{+0.14}_{-0.14}$	$1.04^{+0.32}_{-0.31}$	1.38	12
1721+343	$3.19^{+1.14}_{-1.00}$	$3.37^{+0.35}_{-0.34}$	$1.34^{+0.37}_{-0.35}$	0.34	9
1821+643	$2.20^{+0.54}_{-0.49}$	$4.49^{+0.24}_{-0.23}$	$0.93^{+0.19}_{-0.17}$	1.99	20
1845+797	$6.16^{+0.38}_{-0.37}$	$5.74^{+0.14}_{-0.13}$	$0.85^{+0.08}_{-0.08}$	0.93	24
1916−587	$5.40^{+0.33}_{-0.32}$	$9.38^{+0.23}_{-0.23}$	$1.35^{+0.09}_{-0.09}$	0.94	20
1928+738	$11.09^{+2.81}_{-1.95}$	$1.91^{+0.19}_{-0.15}$	$1.20^{+0.26}_{-0.23}$	0.52	18
1939−104	$10.54^{+7.29}_{-3.55}$	$0.39^{+0.10}_{-0.05}$	$0.60^{+0.43}_{-0.30}$	0.27	9
2041−109	$4.05^{+0.24}_{-0.23}$	$17.32^{+0.36}_{-0.35}$	$1.44^{+0.07}_{-0.07}$	1.38	19
2126−158	$6.64^{+4.15}_{-2.28}$	$0.97^{+0.16}_{-0.12}$	$0.45^{+0.41}_{-0.37}$	1.21	11
2130+099	$3.77^{+0.28}_{-0.28}$	$3.43^{+0.10}_{-0.10}$	$1.76^{+0.10}_{-0.10}$	0.96	19
2135−147	$4.55^{+0.63}_{-0.61}$	$3.27^{+0.16}_{-0.16}$	$1.43^{+0.19}_{-0.18}$	0.99	9
2141+175	$6.00^{+4.78}_{-2.74}$	$0.26^{+0.05}_{-0.04}$	$0.95^{+0.67}_{-0.61}$	0.35	5
2201+315	$13.97^{+17.5}_{-6.03}$	$1.24^{+0.84}_{-0.26}$	$1.54^{+1.13}_{-0.62}$	0.29	6
2206−474	$1.64^{+0.10}_{-0.10}$	$15.55^{+0.22}_{-0.22}$	$0.99^{+0.04}_{-0.04}$	1.82	24
2221−023	$1.18^{+2.73}_{-1.18}$	$0.11^{+0.02}_{-0.02}$	$-0.23^{+0.65}_{-0.57}$	0.61	4
2223−052	$6.29^{+1.58}_{-1.23}$	$0.48^{+0.04}_{-0.03}$	$0.99^{+0.26}_{-0.25}$	2.65	11
2251+158	$9.58^{+1.53}_{-1.15}$	$2.27^{+0.13}_{-0.10}$	$0.79^{+0.14}_{-0.12}$	0.55	19
2251−178	$2.35^{+0.09}_{-0.11}$	$9.66^{+0.11}_{-0.11}$	$1.16^{+0.04}_{-0.04}$	6.19	28
2300+086	$5.75^{+0.19}_{-0.19}$	$8.64^{+0.12}_{-0.12}$	$1.28^{+0.05}_{-0.05}$	2.28	22
2302−089	$3.31^{+0.21}_{-0.21}$	$3.60^{+0.07}_{-0.07}$	$1.07^{+0.07}_{-0.07}$	1.51	22

Tabelle 6.7: *Signifikanzen*

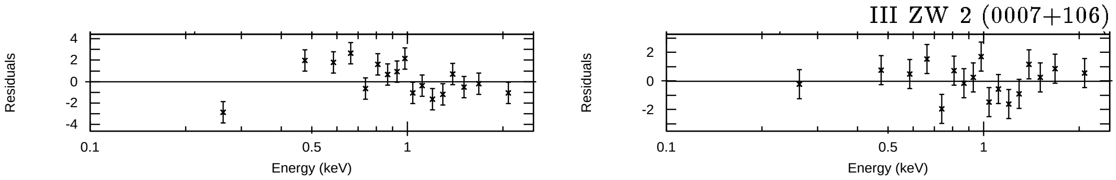
IAU-Name	$S_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$	$S_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}^{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$	$S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$	$S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{frei}}$
0007+106	−2.16	−1.95	−0.31	1.29
0014+813	−0.56	−0.46	−0.34	0.33
0026+129	−0.22	−0.20	1.41	1.08
0057+315	0.27	0.27	−0.63	−0.51
0111−151	−0.11	−0.12	4.39	3.07
0121−590	−0.40	−1.66	8.35	7.21
0133+207	0.97	0.82	−0.26	−0.83
0212−009	0.75	0.77	2.24	2.11
0232−090	−0.62	−1.28	0.55	0.69
0236−524	0.35	1.61	7.55	5.50
0333+321	−0.51	−0.44	−2.41	−0.23
0415+379	−1.16	−1.11	−6.45	−0.20
0418−550	−0.06	−0.12	7.13	4.60
0430+052	−1.90	−1.89	4.80	3.15
0513−002	−0.49	−0.57	5.95	4.30
0518−458	−1.09	−1.46	−0.74	0.26
0637−752	0.04	0.05	1.40	0.78
0738+499	−3.06	−2.90	4.63	5.38
0804+761	−1.31	−1.25	1.78	2.21
0951+693	−3.61	−8.47	−2.84	−0.72
1020+201	−2.84	−5.13	−8.06	−3.49
1028+313	0.06	0.06	3.70	1.26
1103+728	0.54	3.31	2.49	1.83
1121+423	0.07	0.07	2.62	2.27
1122+546	−0.53	−1.14	−0.25	0.04
1136−374	−1.08	−2.02	27.66	18.31
1137+660	−0.60	−0.52	1.37	1.20
1159−036	0.89	0.74	−0.84	−1.19
1200+448	−3.48	−3.88	18.26	15.36
1208+396	−1.51	−4.80	12.05	10.33
1215+300	−1.44	−5.41	10.05	10.34
1219+755	−2.39	−2.37	0.59	1.36
1226+023	0.37	2.25	34.55	9.70
1237−050	−0.42	−0.38	2.24	1.91

Tabelle 6.7: *(Fortsetzung) Signifikanzen*

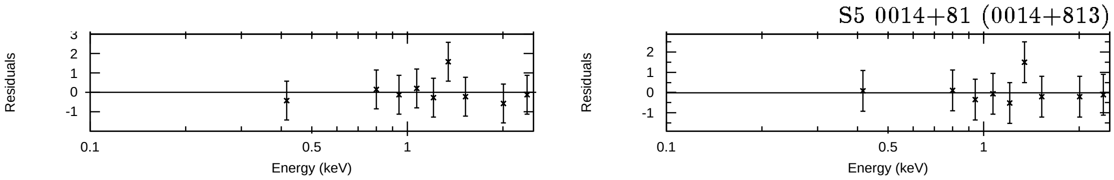
IAU-Name	$S_{N_{\mathrm{H,frei}}}^{N_{\mathrm{H,gal}}}$	$S_{0.1-2.4,\mathrm{frei}}^{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$	$S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{gal}}$	$S_{2-20}^{0.1-2.4,\mathrm{frei}}$
1253−055	−0.36	−0.33	3.80	1.45
1307+085	0.07	0.06	0.99	0.89
1333−340	−2.44	−2.46	4.44	4.25
1346−300	−5.11	−5.88	−46.36	−3.37
1351+695	−0.83	−0.91	4.87	4.90
1353+388	6.40	5.64	14.33	2.37
1415+253	0.69	4.68	25.53	7.86
1416−129	−0.11	−0.09	1.85	1.80
1426+015	1.04	1.02	2.42	1.96
1501+106	0.58	0.62	12.18	10.14
1510−089	−0.47	−0.39	0.22	0.44
1534+580	0.69	0.66	2.77	1.74
1615+061	2.02	3.47	2.97	1.50
1641+399	−1.52	−1.45	0.77	1.36
1720+309	0.42	0.46	1.13	0.88
1721+343	−0.13	−0.12	4.62	1.92
1821+643	2.37	3.18	10.65	0.48
1845+797	−2.51	−4.49	−1.83	2.88
1916−587	0.68	1.26	9.74	4.53
1928+738	−1.78	−1.72	−3.26	−1.59
1939−104	−0.21	−0.15	0.78	0.48
2041−109	1.23	3.11	30.49	8.70
2126−158	−0.79	−0.62	5.04	2.97
2130+099	1.38	1.40	4.80	3.79
2135−147	−0.15	−0.14	6.08	3.75
2141+175	0.41	0.37	0.82	0.38
2201+315	−0.67	−0.54	1.17	1.15
2206−474	2.23	11.81	6.33	1.17
2221−023	1.41	0.74	−0.70	−1.33
2223−052	−0.84	−0.67	−0.86	0.19
2251+158	−2.10	−1.88	−11.87	−4.52
2251−178	3.83	4.70	24.98	12.41
2300+086	−3.81	−4.33	2.14	4.58
2302−089	0.37	1.05	11.89	5.91

Tabelle 6.8: *Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

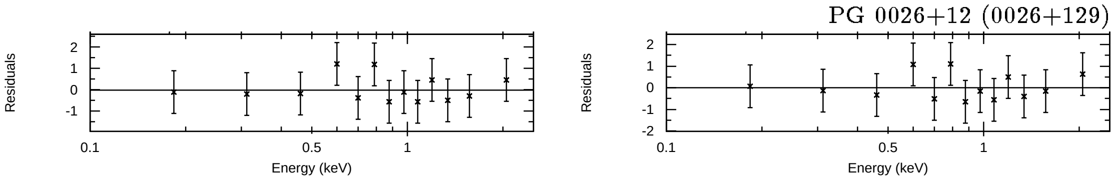
III ZW 2 (0007+106)



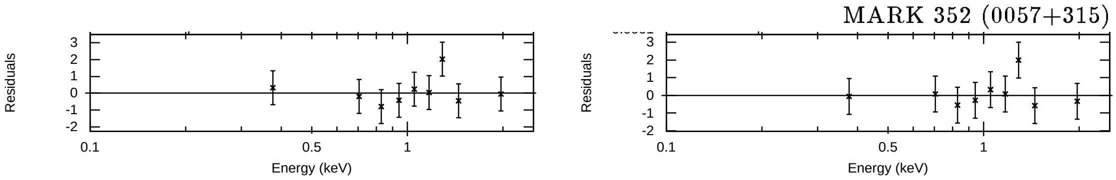
S5 0014+81 (0014+813)



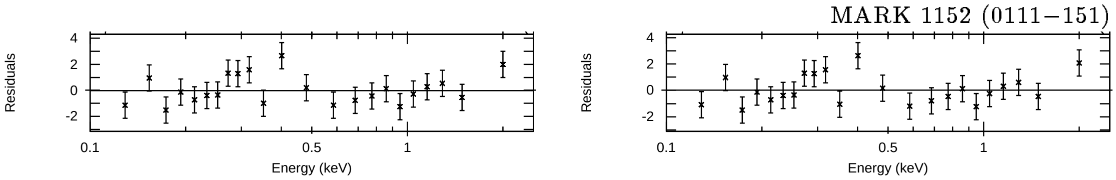
PG 0026+12 (0026+129)



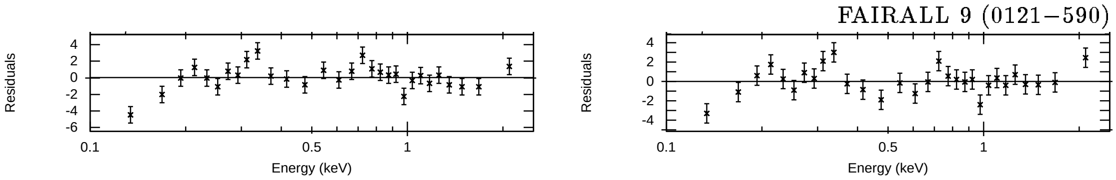
MARK 352 (0057+315)



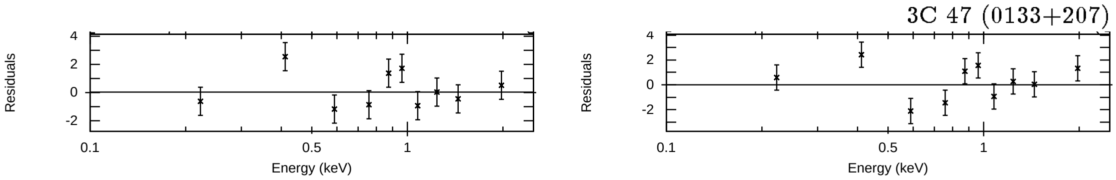
MARK 1152 (0111−151)



FAIRALL 9 (0121−590)



3C 47 (0133+207)



MARK 590 (0212−009)

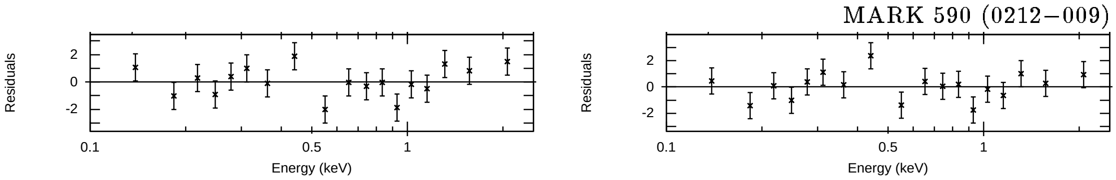
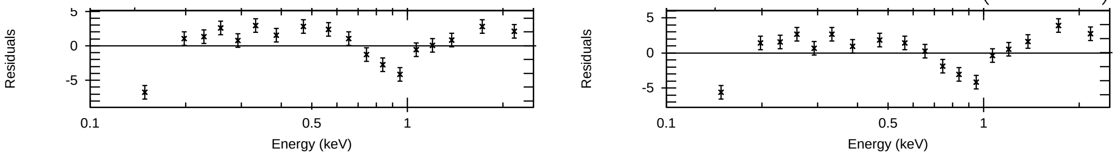
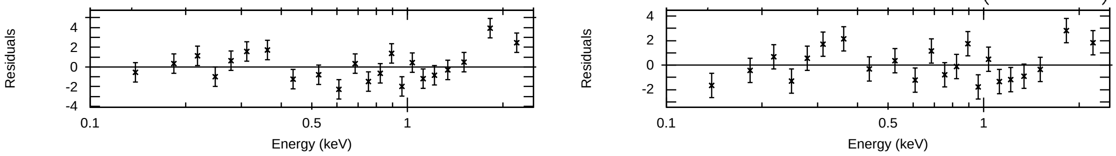


Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

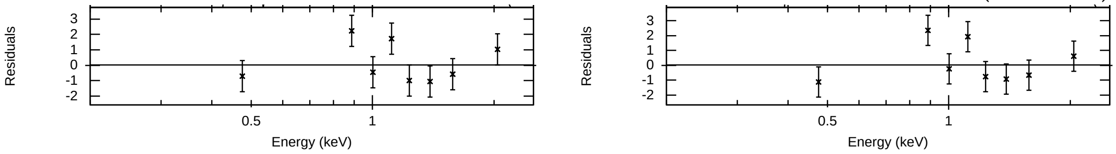
NGC 985 (0232−090)



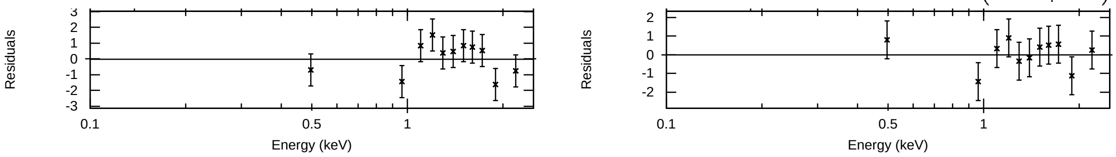
ESO 198−G24 (0236−524)



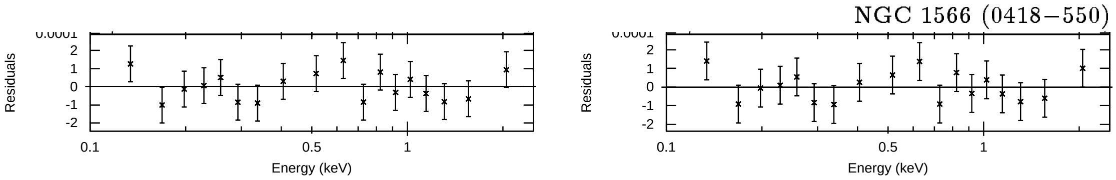
NRAO 140 (0333+321)



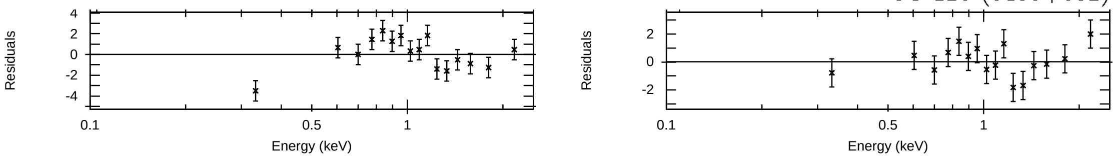
3C 111.0 (0415+379)



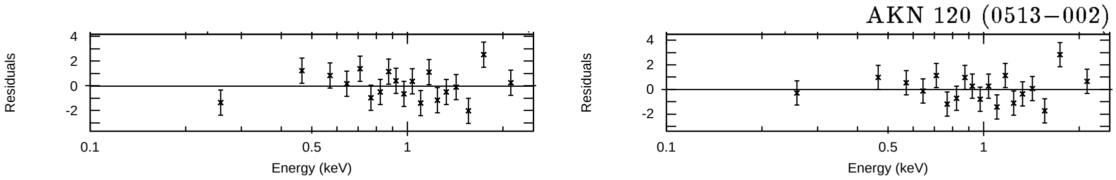
NGC 1566 (0418−550)



3C 120 (0430+052)



AKN 120 (0513−002)



PKS 0518−45 (0518−458)

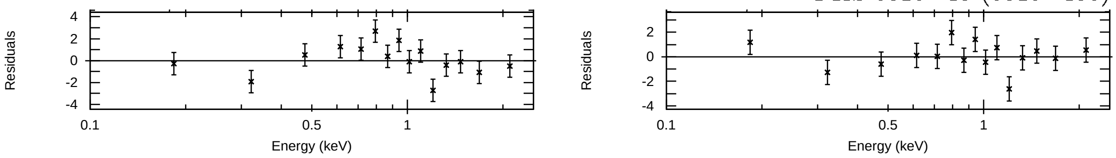
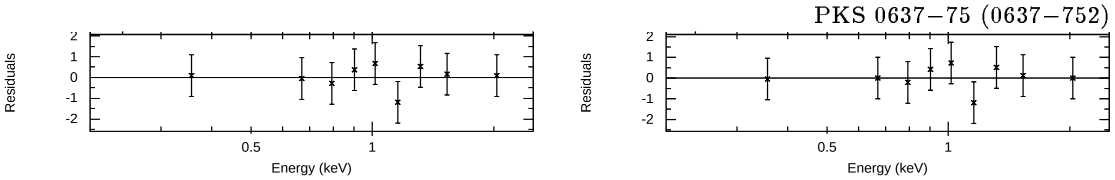
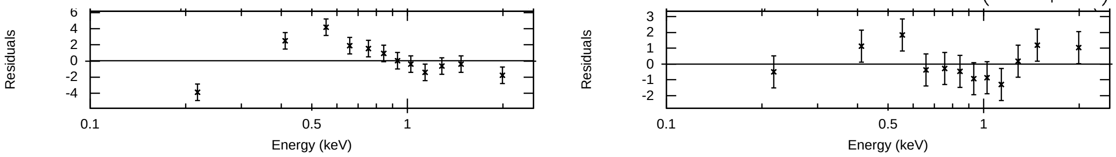


Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

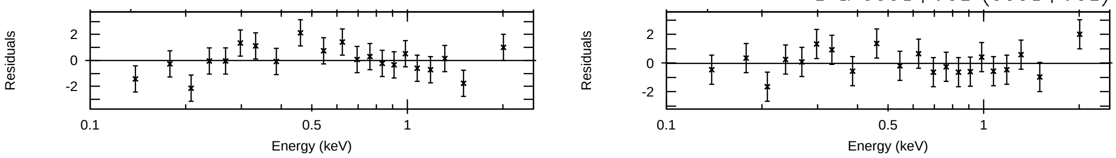
PKS 0637−75 (0637−752)



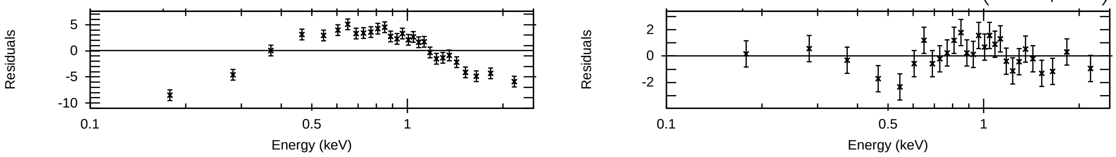
MARK 79 (0738+499)



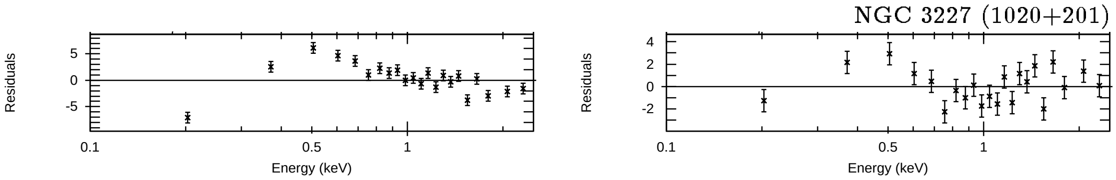
PG 0804+761 (0804+761)



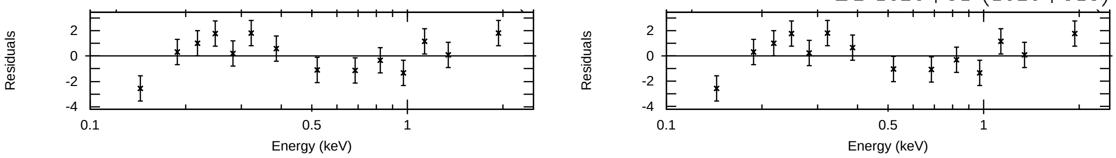
NGC 3031 (0951+693)



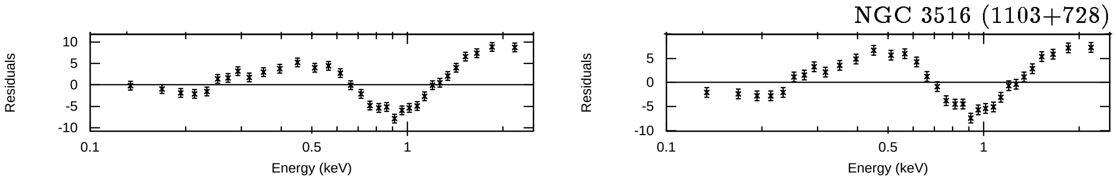
NGC 3227 (1020+201)



B2 1028+31 (1028+313)



NGC 3516 (1103+728)



PG 1121+422 (1121+423)

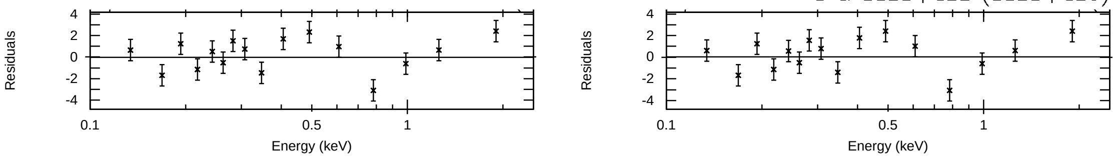
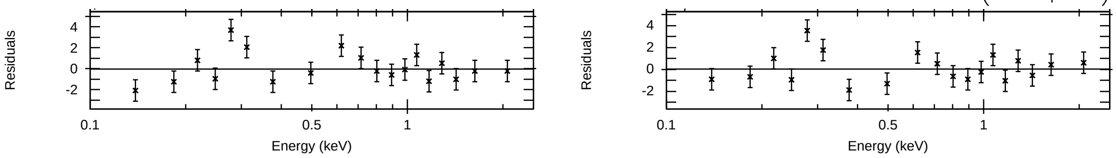
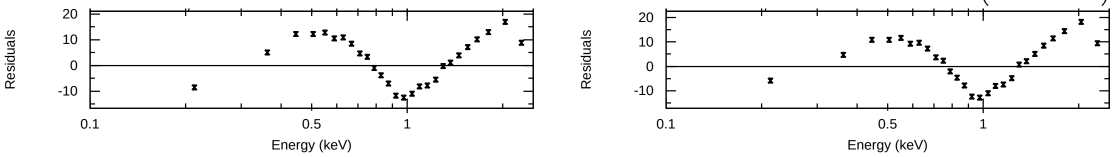


Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

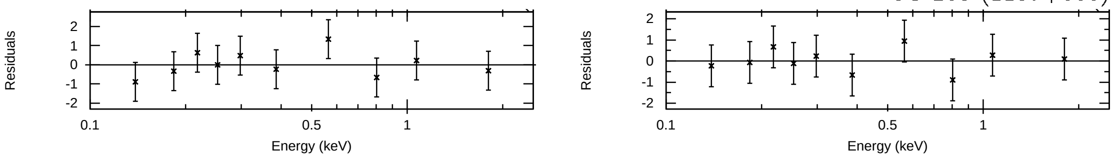
MARK 40 (1122+546)



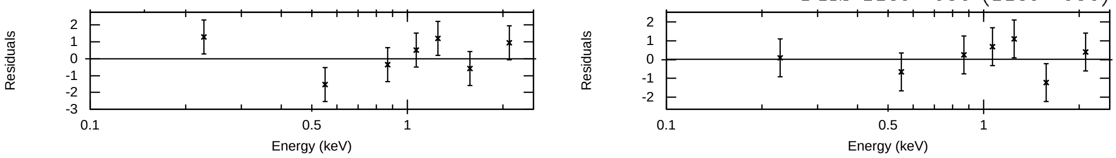
NGC 3783 (1136−374)



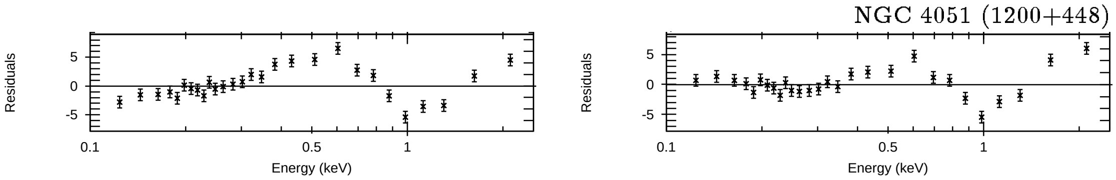
3C 263 (1137+660)



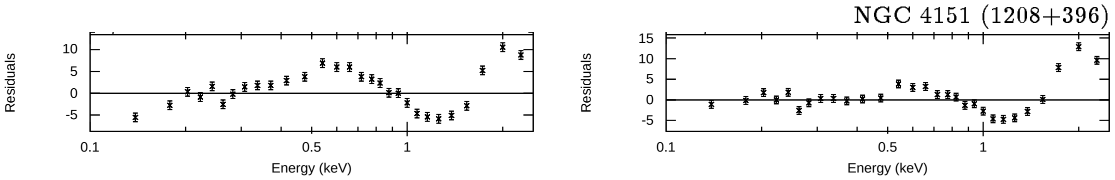
PKS 1159−036 (1159−036)



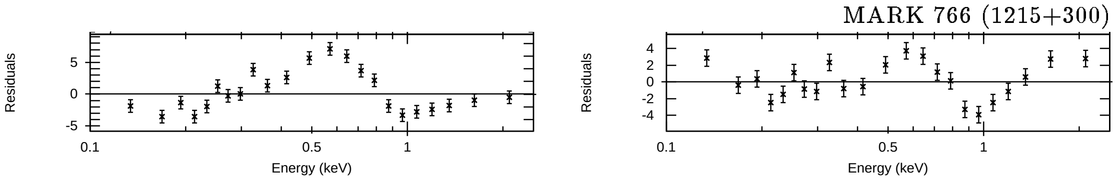
NGC 4051 (1200+448)



NGC 4151 (1208+396)



MARK 766 (1215+300)



MARK 205 (1219+755)

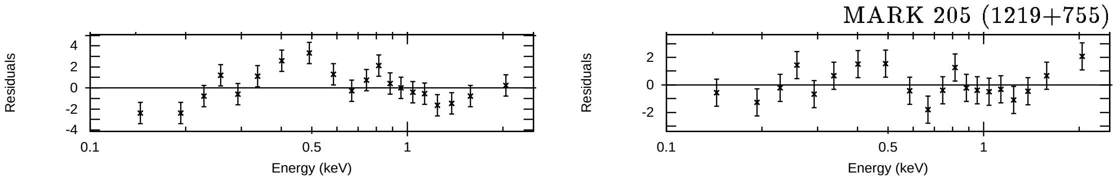
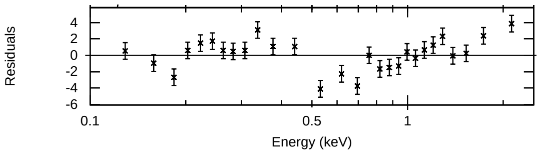
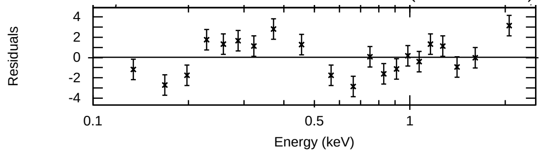


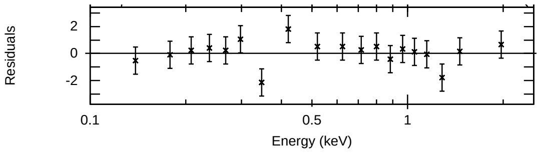
Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

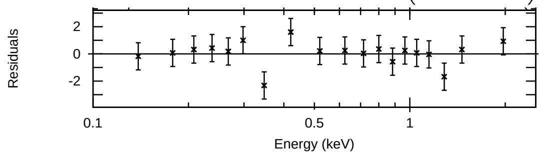
3C 273 (1226+023)



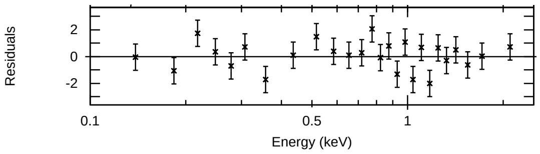


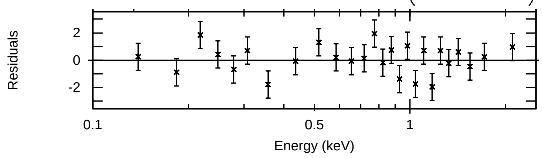
NGC 4593 (1237−050)



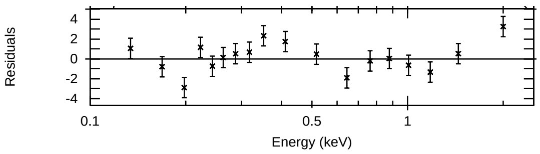


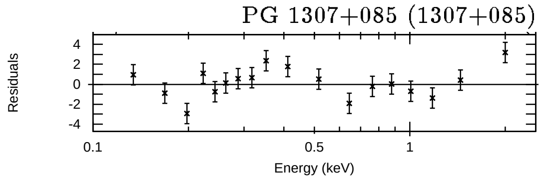
3C 279 (1253−055)



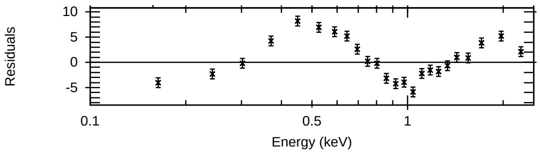


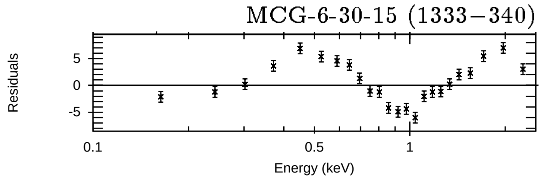
PG 1307+085 (1307+085)



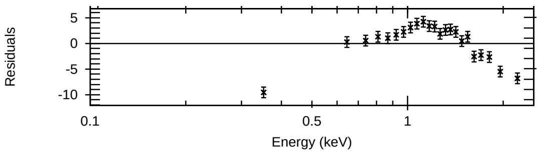


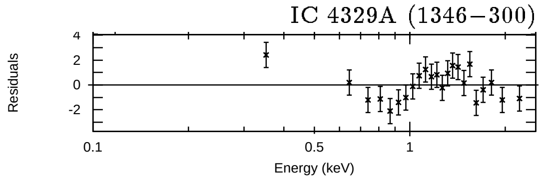
MCG-6-30-15 (1333−340)



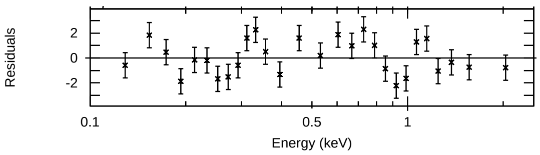


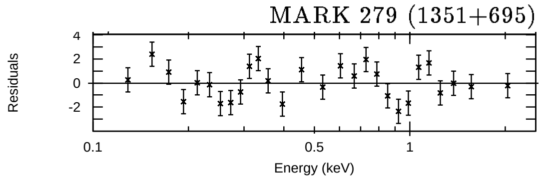
IC 4329A (1346−300)



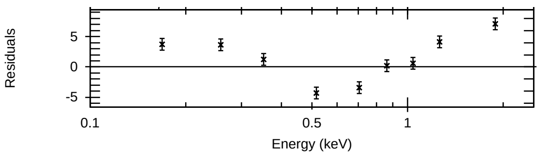


MARK 279 (1351+695)





MARK 464 (1353+388)



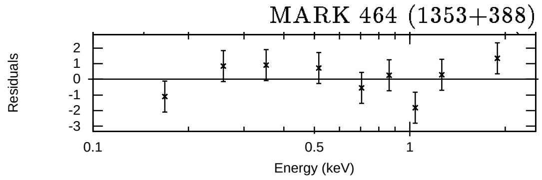
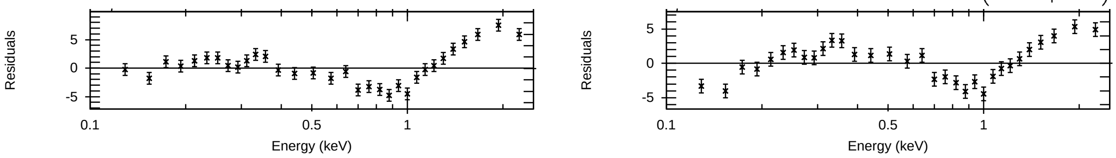
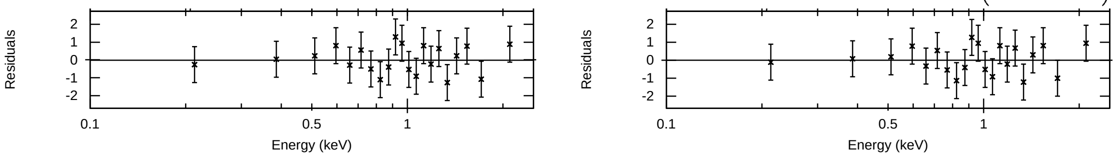


Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

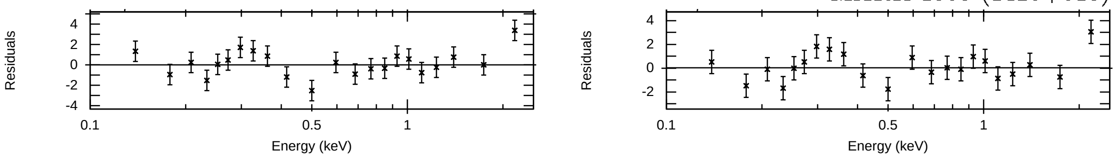
NGC 5548 (1415+253)



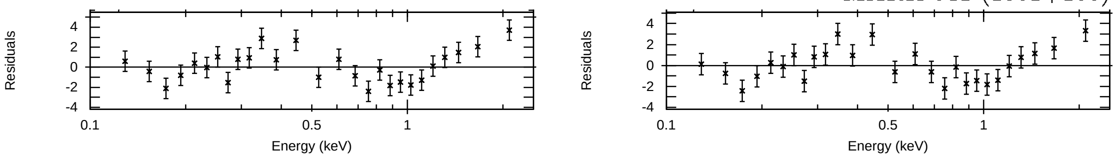
PG 1416−129 (1416−129)



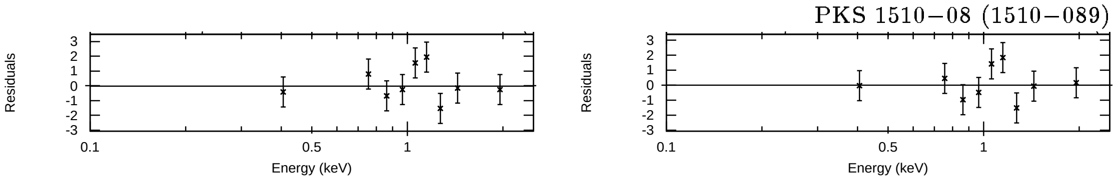
MARK 1383 (1426+015)



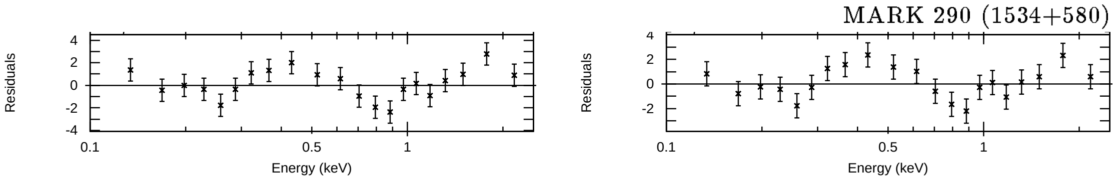
MARK 841 (1501+106)



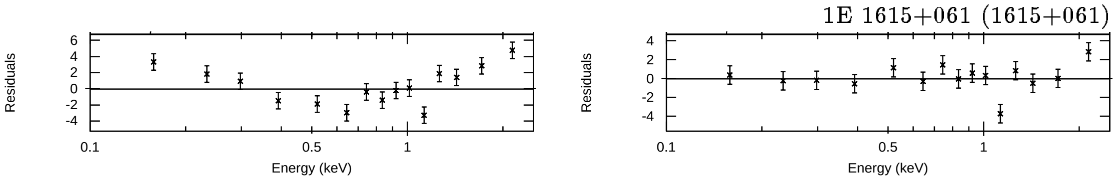
PKS 1510−08 (1510−089)



MARK 290 (1534+580)



1E 1615+061 (1615+061)



3C 345.0 (1641+399)

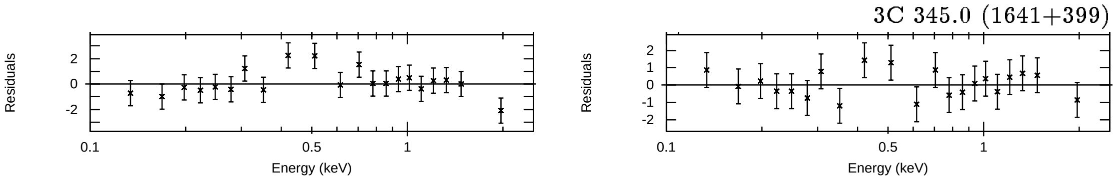
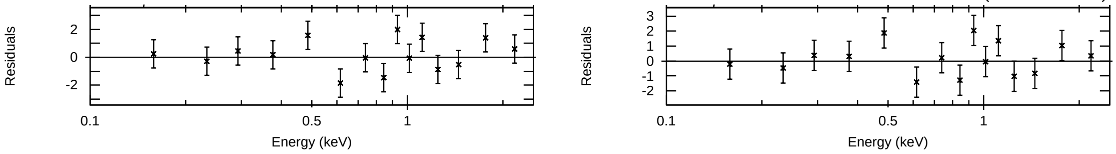
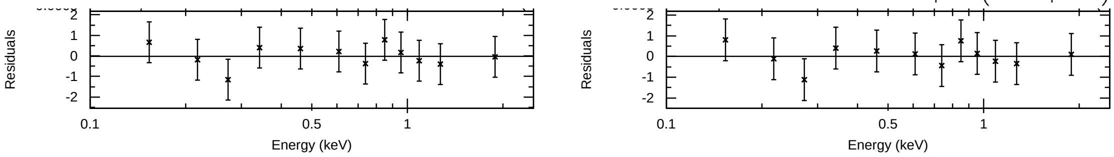


Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

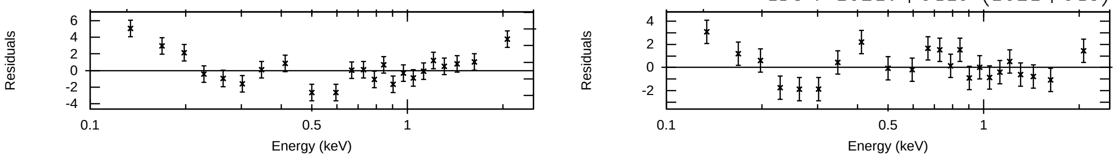
MARK 506 (1720−309)



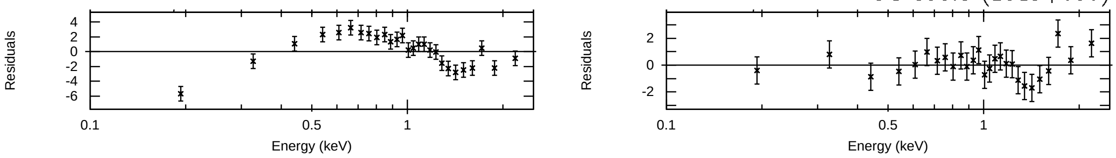
B2 1721+34 (1721+343)



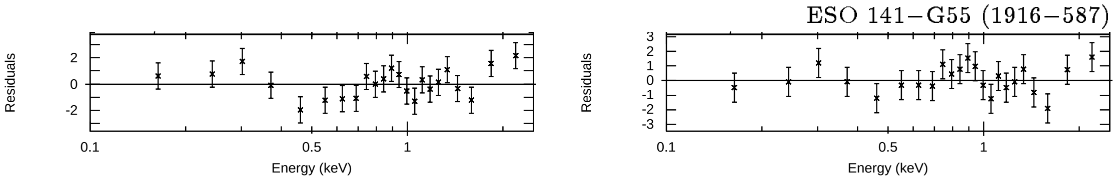
KUV 18217+6419 (1821+643)



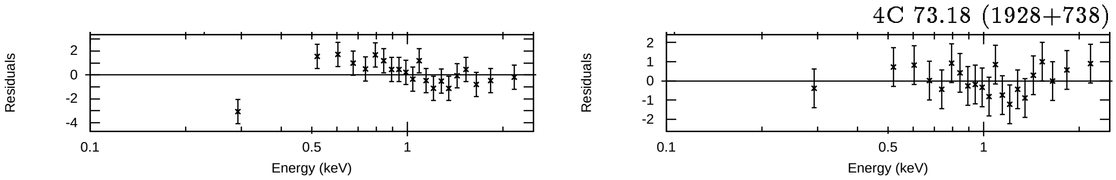
3C 390.3 (1845+797)



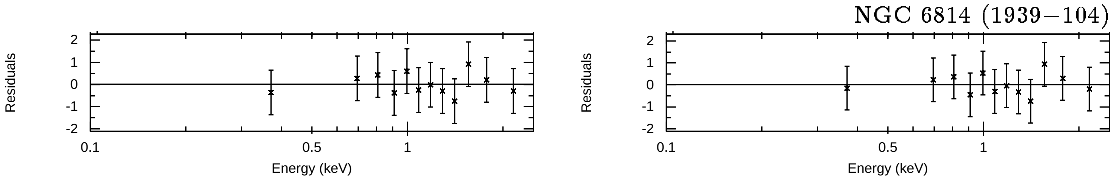
ESO 141−G55 (1916−587)



4C 73.18 (1928+738)



NGC 6814 (1939−104)



MARK 509 (2041−109)

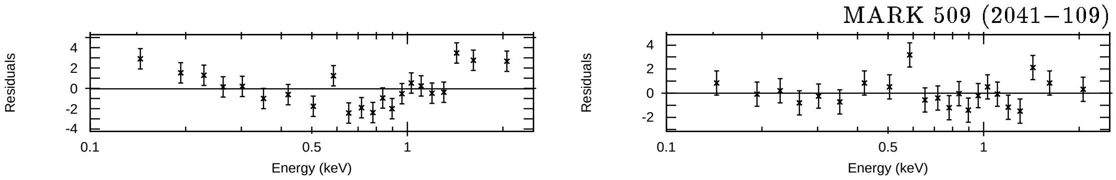
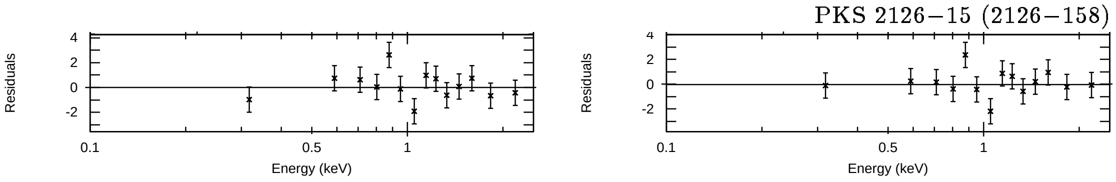
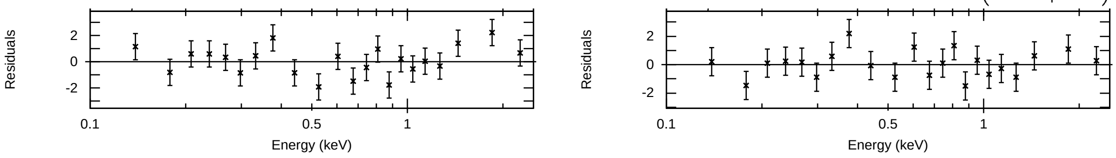


Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

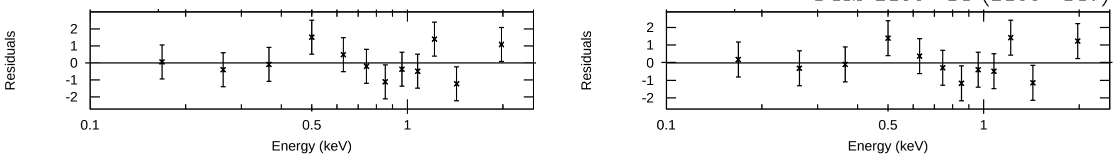
PKS 2126−15 (2126−158)



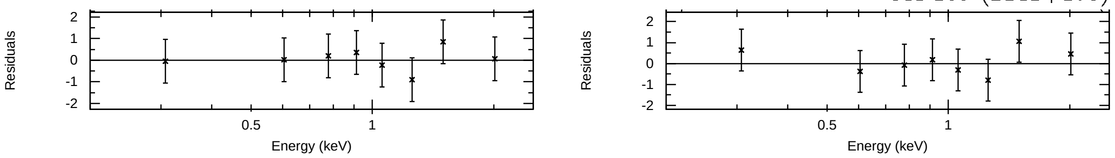
II ZW 136 (2130+099)



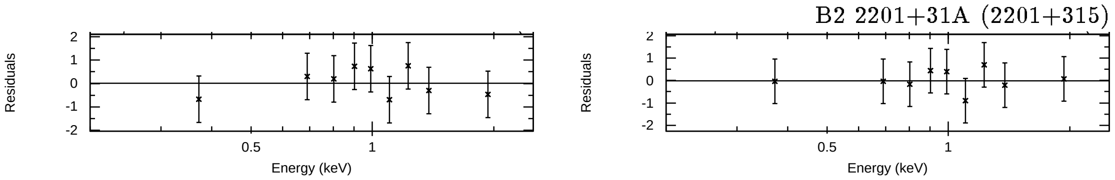
PKS 2135−14 (2135−147)



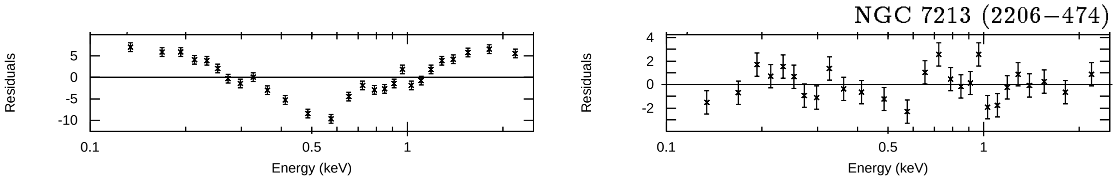
OX 169 (2141+175)



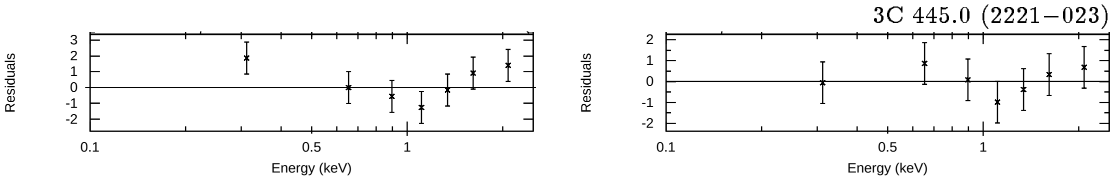
B2 2201+31A (2201+315)



NGC 7213 (2206−474)



3C 445.0 (2221−023)



3C 446 (2223−052)

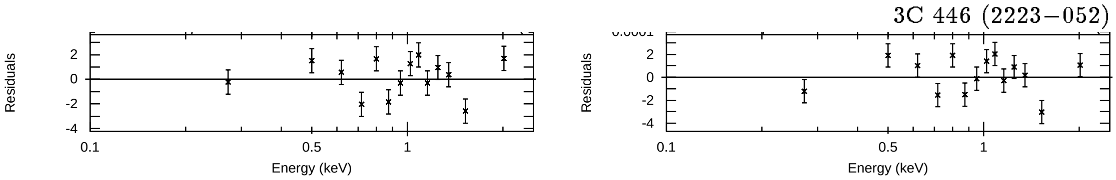
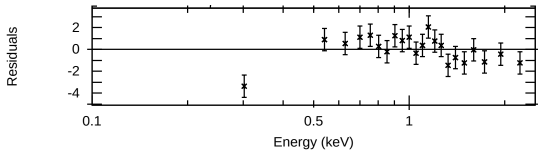
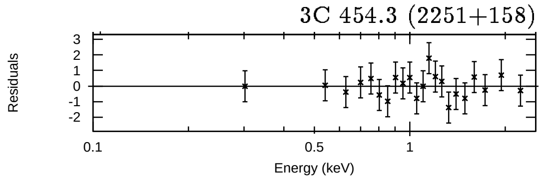


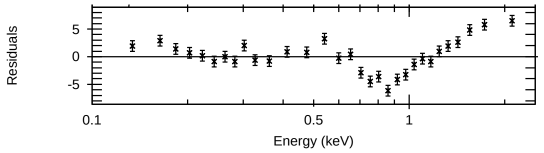
Tabelle 6.8: *(Fortsetzung) Residuen der Fits mit den beiden einfachen Potenzgesetzen: links mit $N_{\mathrm{H,gal}}$, rechts mit $N_{\mathrm{H,frei}}$.*

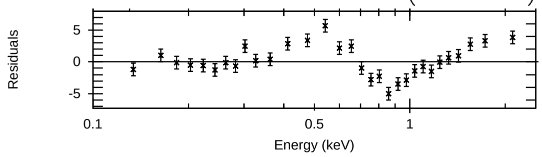
3C 454.3 (2251+158)



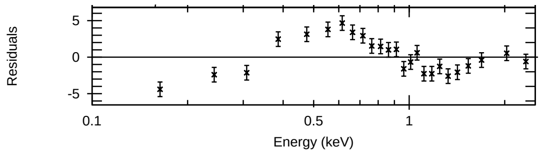


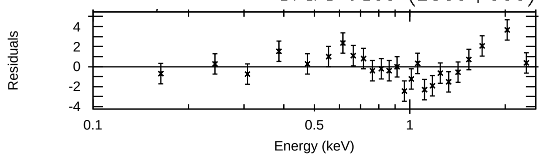
MR 2251−178 (2251−178)



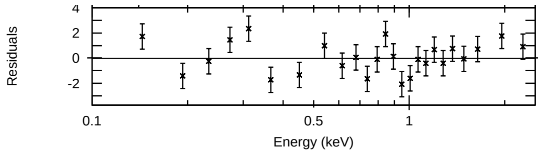


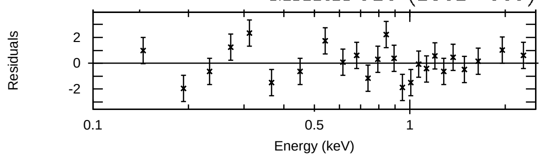
NGC 7469 (2300+086)





MARK 926 (2302−089)





Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Rüdiger Staubert für die Vergabe der vorliegenden Arbeit und die gemeinsame Betreuung mit Herrn Dr. Michael Maisack.

Mein besonderer Dank gilt der Hallwag AG, Bern und der Mediakom, Gysling & Partner, Bern, deren großzügige finanzielle Unterstützung die vorliegende Arbeit überhaupt erst ermöglicht hat.

Für ihre Ermunterung und Hilfe auf dem langen Weg danke ich von Herzen meinem großherzigen Förderer Hannes Gysling und meinen Freunden Christian Gojowczyk und Dr. Elisa Stussi.

Bedanken möchte ich mich auch für die stete Diskussions- und Hilfsbereitschaft meiner Kollegen und Kolleginen im Institut für Astronomie der Universität Tübingen, namentlich bei Herrn Dr. Hermann Brunner, Herrn Dr. Thomas Dörrer, Herrn Dr. Peter Friedrich, Frau Dr. Susanne Friedrich, Herrn Ralf Geckeler, Herrn Dr. Georg Lamer, Herrn Dr. Volkmar Großmann, Herrn Dr. Peter Kretschmar, Herrn Heinz Lenhart, Herrn Christian Müller, Herrn Dr. Bernhard Pflüger, Herrn Dr. Kurt Wagner, Herrn Dr. Andreas Wicenec, Herrn Jörn Wilms und insbesondere bei Herrn Fabian Rother, der mir in all den Jahren unermüdlich und geduldig mit Rat und Tat zur Seite stand.

Herr Dr. Giuseppe Malaguti war so freundlich, mir seinen Katalog (Malaguti *et al.* 1994) als elektronische Datei zu überlassen, und für meine Literaturrecherche konnte ich von der NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) Gebrauch machen.

Lebenslauf

6. Juli 1962	geb. in Sindelfingen

Schulausbildung:

Sept. 1969 – Feb. 1972	Grundschule in Gechingen
Feb. 1972 – Juni 1973	Grundschule in Gestorf
Aug. 1973 – April 1975	Otto-Hahn-Gymnasium in Springe
April 1975 – Mai 1982	Otto-Hahn-Gymnasium in Böblingen
14. Mai 1982	Abitur

Wehr-/Zivildienst

Juli 1982 – Nov. 1982	Grundwehrdienst in Weingarten und Bruchsal
Nov. 1982 – Okt. 1983	Zivildienst in Stammheim

Hochschulausbildung:

Okt. 1983	Beginn des Physikstudiums an der Eberhard-Karls Universität Tübingen
Okt. 1985	Beginn des Begleitstudiums in Allgemeine Rhetorik an der Eberhard-Karls Universität Tübingen
10. April 1986	Vordiplom in Physik
Okt. 1986 – März 1987	Gastsemester an der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich
Feb. 1989 – Sept. 1989	Gastsemester an der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich
Juni 1990 – Juli 1991	Diplomarbeit am Astronomischen Institut der Eberhard-Karls Universität Tübingen unter Anleitung von Prof. Dr. Rüdiger Staubert: Testmessungen an schnellen Analog-Digital-Wandlern für eine Röntgen-CCD-Kamera
23. Jan. 1992	Diplom in Physik
24. Jan. 1992	Zwischenprüfung in Allgemeine Rhetorik als Begleitstudium

April 1992 – Sept. 1993	Forschungsarbeit im Rahmen der Forschungen zum Historischen Wörterbuch der Rhetorik am Seminar für Allgemeine Rhetorik der Eberhard-Karls Universität Tübingen unter Anleitung von Prof. Dr. Gert Ueding: Albert Einstein in seinen erkenntnistheoretischen Äußerungen
Aug. 1993 – April 1997	Doktorarbeit am Astronomischen Institut der Eberhard-Karls Universität Tübingen unter Anleitung von Prof. Dr. Rüdiger Staubert: Soft X-ray excess in Aktiven Galaxienkernen

Berufliche Tätigkeiten:

seit Dez. 1991	Redakteur der Technischen Rundschau, Hallwag AG, Bern
seit Jan. 1997	Redakteur der Schweizerischen Technischen Zeitschrift, STV-Verlags AG, Zürich
seit Jan. 1997	Redakteur der ComTec, Telecom PTT, Bern

Hochschullehrer:

Meine Hochschullehrer waren vor anderen die Herren Prof. und Priv. Doz. Dres.:

Im Physikstudium:	M. Baumann, A. Fäßler, K.H. Gaukler, W.-D. Hartmann, K.-H. Herrmann, R. Hübener, C. Jönsson, E. Kasper, H. Kaul, H. Lichte, H. Liening, O. Lutz, G. Mack, G. Mertens, H. Müther, W. Nakel, H. Pfister, W. Prandl, F. Rex, M. Schramm, A. Schwenk, R. Staubert, G. Staudt, J. Strähle, H. Stumpf, G. Wagner, H.-W. Wittern und M. Wolff (Universität Tübingen)
	M. Anliker, V. Gramlich, P. Günter, M. Sigrist und J. Schoenes (ETH Zürich)
Im Rhetorikstudium:	W. Jens und G. Ueding (Universität Tübingen)
	A. Muschg (ETH Zürich)